

repository.ub.ac.id

**PENGARUH TEMPERATUR *PREHEATING* TERHADAP EMISI
MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR BIODIESEL *CALOPHYLLUM*
*INOPHYLLUM***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DANA DAMARA PUTRA
NIM. 145060201111059

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH TEMPERATUR *PREHEATING* TERHADAP EMISI MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR BIODIESEL *CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DANA DAMARA PUTRA
NIM. 145060201111059

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 16 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

Dosen Pembimbing II

Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.
NIK. 201103 820919 2 001



Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH TEMPERATUR *PREHEATING* TERHADAP EMISI MESIN DIESEL
BERBAHAN BAKAR BIODIESEL *CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*

Nama Mahasiswa : Dana Damara Putra
NIM : 145060201111059
Program Studi : Teknik Mesin
Minat : Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
Pembimbing II : Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.
Dosen Penguji 2 : Winarto, ST., MT., Ph.D
Dosen Penguji 3 : Fikrul Akbar Alamsyah, ST., MT

Tanggal Ujian : 02 Juli 2018
SK Penguji : 1312/UN10.F07/SK/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak pernah terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 16 Juli 2018

Mahasiswa,



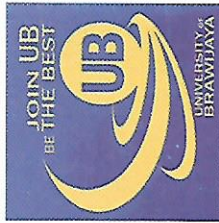
Dana Damara Puta
NIM. 145060201111059

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 098/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

DANA DAMARA PUTRA

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH TEMPERATUR *PREHEATING* TERHADAP EMISI MESIN DIESEL
BERBAHAN BAKAR BIODIESEL *CALOPHYLLUM INOPHYLLUM***

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **16 JUL 2018**



Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D

NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.

NIP. 19740930 200012 1 001



*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada :
Ayahanda dan Ibunda tercinta*

RINGKASAN

Dana Damara Putra, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2018, *Pengaruh Temperatur Preheating Terhadap Emisi Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Calophyllum Inophyllum*, Dosen Pembimbing : Mega Nur Sasongko, Francisca Gayuh Utami Dewi.

Setiap tahun jumlah kendaraan bermotor di Indonesia terus mengalami peningkatan. Akan tetapi hal ini berbanding terbalik dengan jumlah cadangan minyak bumi di Indonesia yang terus mengalami penurunan. Oleh karena itu diperlukan penelitian tentang sumber energi terbarukan yang berguna menggantikan bahan bakar fosil yang diperkirakan akan habis. Salah satu bahan bakar terbarukan yang dapat menggantikan bahan bakar fosil yaitu biodiesel. Biodiesel memiliki keunggulan yaitu menghasilkan emisi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar solar. Akan tetapi biodiesel juga memiliki kekurangan yaitu memiliki nilai viskositas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan solar. Untuk menurunkan nilai viskositas biodiesel maka perlu dilakukan suatu perlakuan yaitu dengan melakukan *preheating* atau pemanasan sehingga nilai viskositas biodiesel akan menurun dan mendekati nilai viskositas solar.

Tujuan penelitian ini digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi temperatur *preheating* dan penambahan biodiesel *Calophyllum inophyllum* pada bahan bakar solar terhadap emisi mesin diesel yanmar. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan temperatur *preheating* bahan bakar sebesar 40°C, 50°C, dan 60°C. Untuk setiap variasi temperatur *preheating* menggunakan bahan bakar solar yang ditambahkan dengan biodiesel *Calophyllum inophyllum* sebesar 10%, 20% dan 30% dari volume bahan bakar.

Hasil yang diperoleh adalah, dengan meningkatnya temperatur *preheating* dan semakin tinggi persentase biodiesel, nilai emisi CO, HC dan opasitas mengalami penurunan sedangkan emisi CO₂ mengalami kenaikan. Didapatkan hasil terbaik pada bahan bakar B30 dengan temperatur *preheating* 60°C dengan penurunan emisi CO sebesar 30,37% , emisi HC sebesar 26,88% dan emisi opasitas sebesar 8,5% sedangkan nilai emisi CO₂ yang dihasilkan mengalami kenaikan 25% jika dibandingkan dengan bahan bakar solar pada putaran 1800 RPM.

Kata kunci : Biodiesel, Diesel, Emisi, Temperatur *Preheating*

SUMMARY

Dana Damara Putra, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, May 2018, The Effect of Preheating On The Diesel Engine Emissions Fuelled With Calophyllum Inophyllum Biodiesel , Academic Supervisor : Mega Nur Sasongko, Francisca Gayuh Utami Dewi.

Every year, the number of vehicles in Indonesia continues to increase. However, this is inversely related to the amount of oil reserves in Indonesia which continues to decline. Therefore, research on renewable energy sources that is useful to replace fossil fuels that will be exhausted. One of the renewable fuels that can replace fossil fuels that is biodiesel. Biodiesel has the advantage of producing lower emissions when compared with diesel fuel. But biodiesel also has the disadvantage of having a higher viscosity when compared with diesel fuel. To reduce the viscosity value of biodiesel it's necessary to do a treatment that is by preheating so that the biodiesel viscosity value will decrease and close to the value of the viscosity of diesel fuel.

The purpose of this research is to know how influence of temperature variation of preheating and addition of biodiesel Calophyllum inophyllum on diesel fuel to yanmar diesel engine emission. This research was conducted by varying preheating temperature of fuel by 40°C, 50°C and 60°C. Each variation of preheating temperature, using diesel fuel added with Calophyllum inophyllum biodiesel of 10%, 20% and 30% of the fuel volume.

The results obtained are, with increasing preheating temperature and higher percentage of biodiesel, CO, HC and opacity emissions decreased and CO₂ emissions increased. The best result on B30 fuel with preheating temperature 60°C with 30.37% CO emission reduction, HC emission of 26.88% and emission opacity of 8.5% and increase 25% CO₂ emissions compared to diesel fuel at 1800 RPM.

Keywords: Biodiesel, Diesel, Emmisions, Preheating Temperature

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Temperatur *Preheating* Terhadap Emisi Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel *Calophyllum inophyllum*”** dengan baik.

Skripsi ini disusun sebagai bagian dari proses memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Setelah melewati berbagai tahapan, skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan, semangat, motivasi, dan dorongan dari berbagai pihak. Penulis sepatutnya menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT.,Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan juga selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak bimbingan, bantuan, serta ilmu dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Dr.Eng. Widya WIjayanti, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Konversi Energi yang telah banyak bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Ibu Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan banyak bimbingan, bantuan, serta ilmu dalam penyusunan skripsi ini.
5. Staf dari Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah melancarkan proses dari skripsi ini.
6. Kedua orang tua serta adik dari penulis yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta doa yang tak terhingga sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman-teman M'14 yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dan bantuannya selama penyelesaian skripsi ini.
8. Teman-teman ngopi KINGDOM yaitu Fadillah, Ilyas, Isfan, Reza, Obi, Dhyhan, Romy, Topan, Feyzar, Ash, Abo, Hilmy, Satrio, Ghani, pipit yang setia menemani disaat susah dan senang.
9. Teman-teman seperjuangan di Tim Apatte 62 Brawijaya yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Saudara Andhika, Viki, Ikram dan Usman yang telah memberikan saran serta ilmu untuk penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

11. Seluruh Asisten dan Laboran Laboratorium Motor Bakar yang telah banyak memberikan bantuan dalam menyusun skripsi ini.
12. Berbagai pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna karena keterbatasan ilmu dari penulis dan kendala-kendala yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di waktu yang akan datang. Harapannya tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk penelitian dan pengembangan yang lebih lanjut.

Malang, Juni 2018

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Dasar Motor Diesel.....	6
2.2.1 Siklus Motor Diesel.....	6
2.2.2 Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah.....	7
2.2.3 Proses Pembakaran Motor Diesel.....	8
2.3 Bahan Bakar Diesel.....	10
2.3.1 Karakteristik Umum Bahan Bakar Diesel.....	11
2.4 Biodiesel.....	12
2.4.1 Perbandingan Karakteristik Bahan Bakar Biodiesel dan Diesel.....	15
2.5 Bahan Bakar Minyak Nyamplung.....	16
2.5.1 Karakteristik Umum Bahan Bakar Minyak Nyamplung.....	17
2.5.2 Bahan Bakar Campuran Solar dan Biodiesel Minyak Nyamplung.....	18
2.6 <i>Preheating</i>	19
2.7 Emisi.....	19
2.8 <i>Stargas Analyzer</i> dan <i>Smoke Analyzer</i>	21
2.9 Hubungan Pemanasan Bahan Bakar Terhadap Emisi Bahan Bakar.....	21
2.10 Hipotesis.....	22

BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Metode Penelitian	23
3.2 Variabel Penelitian	23
3.3 Waktu Pelaksanaan	24
3.4 Instalasi Penelitian Motor Diesel	24
3.5 Alat Ukur dan Fungsi	26
3.6 Prosedur Pengambilan Data	29
3.7 Diagram Alir Penelitian	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Analisis	33
4.1.1 Data Karakteristik Bahan Bakar	33
4.1.2 Pengolahan Data	33
4.2 Pembahasan	34
4.2.1 Grafik Emisi CO Terhadap Putaran Mesin Pada Setiap Variasi Temperatur <i>Preheating</i>	34
4.2.2 Grafik Emisi CO ₂ Terhadap Putaran Mesin Pada Setiap Variasi Temperatur <i>Preheating</i>	38
4.2.3 Grafik Emisi HC Terhadap Putaran Mesin Pada Setiap Variasi Temperatur <i>Preheating</i>	42
4.2.4 Grafik Emisi Opasitas Terhadap Putaran Mesin Pada Setiap Variasi Temperatur <i>Preheating</i>	45
BAB V PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sumber Minyak Nabati Sebagai Bahan Baku Biodiesel	13
Tabel 2.2	Syarat Mutu Biodiesel SNI 04-7182-2006	14
Tabel 2.3	Sifat Fisiko Kimia Minyak Nyamplung	17
Tabel 2.4	Komposisi Asam Lemak Minyak Nyamplung Dibanding Minyak Jarak Pagar dan Minyak Sawit	17
Tabel 2.5	Sifat Fisiko Kimia Biodiesel Nyamplung Dibandingkan Dengan Standar SNI 04-7182-2006	18
Tabel 3.1	Jangkauan Pengukuran <i>Star Gass Analyzer</i>	27
Tabel 3.2	Spesifikasi <i>Digital Temperature Controller</i>	28
Tabel 3.3	Spesifikasi <i>Tachometer</i>	28
Tabel 4.1	Tabel Properties Bahan Bakar Aktual	33



DAFTAR GAMBAR

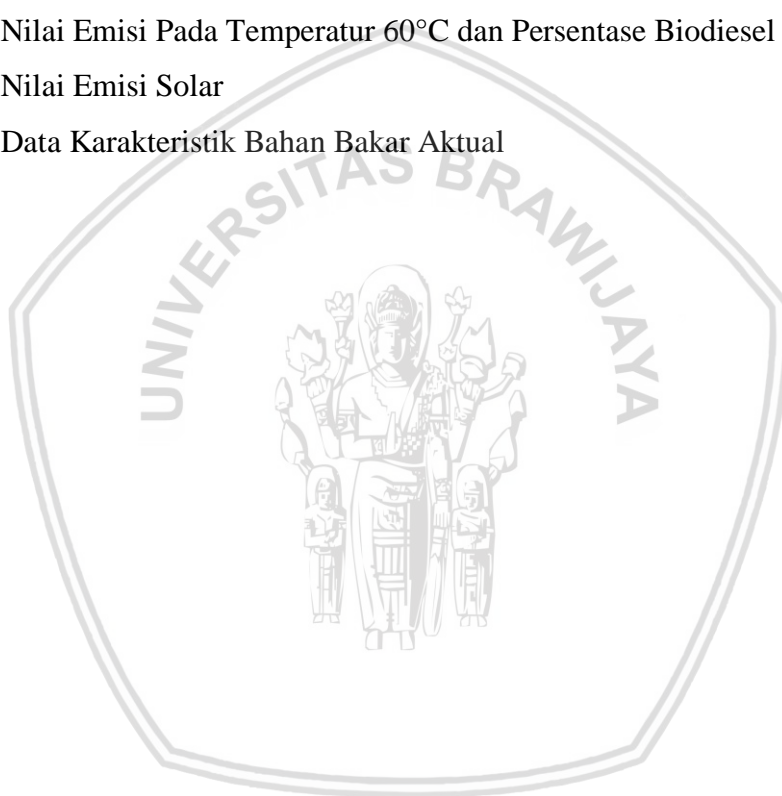
Gambar 2.1	Siklus diesel udara standar diagram P-v	6
Gambar 2.2	Skema langkah kerja pada motor bakar 4 langkah	8
Gambar 2.3	Proses injeksi dan pembakaran pada motor diesel	8
Gambar 2.4	Pengaruh <i>ignition delay</i>	10
Gambar 2.5	Biji nyamplung	16
Gambar 2.6	Persentase kandungan emisi diesel	20
Gambar 3.1	<i>Engine test bench</i> Yanmar L70N-METM	24
Gambar 3.2	Skema instalasi motor diesel Yanmar	25
Gambar 3.3	<i>Star gass analyzer</i>	27
Gambar 3.4	<i>Smoke Analyzer</i>	27
Gambar 3.5	<i>Digital temperature controller</i>	28
Gambar 3.6	<i>Tachometer</i>	29
Gambar 3.7	Tangki <i>preheating</i>	29
Gambar 3.8	Diagram alir penelitian	31
Gambar 4.1	Kandungan emisi CO pada temperatur <i>preheating</i> 40°C	34
Gambar 4.2	Kandungan emisi CO pada temperatur <i>preheating</i> 50°C	34
Gambar 4.3	Kandungan emisi CO pada temperatur <i>preheating</i> 60°C	35
Gambar 4.4	Perbandingan kandungan emisi CO rata-rata pada setiap variasi bahan bakar dan temperatur <i>preheating</i> bahan bakar pada putaran mesin 1800 RPM	35
Gambar 4.5	Kandungan emisi CO ₂ pada temperatur <i>preheating</i> 40°C	38
Gambar 4.6	Kandungan emisi CO ₂ pada temperatur <i>preheating</i> 50°C	38
Gambar 4.7	Kandungan emisi CO ₂ pada temperatur <i>preheating</i> 60°C	39
Gambar 4.8	Perbandingan kandungan emisi CO ₂ rata-rata pada setiap variasi bahan bakar dan temperatur <i>preheating</i> bahan bakar pada putaran mesin 1800 RPM	39
Gambar 4.9	Kandungan emisi HC pada temperatur <i>preheating</i> 40°C	42
Gambar 4.10	Kandungan emisi HC pada temperatur <i>preheating</i> 50°C	42
Gambar 4.11	Kandungan emisi HC pada temperatur <i>preheating</i> 60°C	43
Gambar 4.12	Perbandingan kandungan emisi HC rata-rata pada setiap variasi bahan bakar dan temperatur <i>preheating</i> bahan bakar pada putaran mesin 1800 RPM	43

Gambar 4.13	Kandungan emisi opasitas pada temperatur <i>preheating</i> 40°C.....	45
Gambar 4.14	Kandungan emisi opasitas pada temperatur <i>preheating</i> 50°C	45
Gambar 4.15	Kandungan emisi opasitas pada temperatur <i>preheating</i> 60°C	46
Gambar 4.16	Perbandingan kandungan emisi opasitas rata-rata pada setiap variasi bahan bakar dan temperatur <i>preheating</i> bahan bakar pada putaran mesin 1800 RPM	46



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Nilai Emisi Pada Temperatur 40°C dan Persentase Biodiesel 10 %
- Lampiran 2 Nilai Emisi Pada Temperatur 40°C dan Persentase Biodiesel 20 %
- Lampiran 3 Nilai Emisi Pada Temperatur 40°C dan Persentase Biodiesel 30 %
- Lampiran 4 Nilai Emisi Pada Temperatur 50°C dan Persentase Biodiesel 10 %
- Lampiran 5 Nilai Emisi Pada Temperatur 50°C dan Persentase Biodiesel 20 %
- Lampiran 6 Nilai Emisi Pada Temperatur 50°C dan Persentase Biodiesel 30 %
- Lampiran 7 Nilai Emisi Pada Temperatur 60°C dan Persentase Biodiesel 10 %
- Lampiran 8 Nilai Emisi Pada Temperatur 60°C dan Persentase Biodiesel 20 %
- Lampiran 9 Nilai Emisi Pada Temperatur 60°C dan Persentase Biodiesel 30 %
- Lampiran 10 Nilai Emisi Solar
- Lampiran 11 Data Karakteristik Bahan Bakar Aktual



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan minyak bumi di dunia semakin tahun akan semakin meningkat. Hal ini dapat diakibatkan oleh jumlah kendaraan bermotor yang semakin meningkat jauh setiap tahunnya. Adanya mobil dan motor dengan harga murah yang mulai diproduksi beberapa tahun terakhir membuat jumlah kendaraan semakin tidak bisa dikendalikan. Tidak hanya di sektor transportasi saja yang membutuhkan minyak bumi akan tetapi di sektor lain seperti pada sektor industri, pertanian dan lainnya. Hal inilah yang akan menjadi tanggung jawab kita untuk menciptakan suatu alternatif yang nantinya dapat menggantikan minyak bumi yang sifatnya tidak dapat diperbaharui (*non renewable*). Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh lembaga konsultan Norwegia, *Rystad Energy* (2016), dengan kecepatan produksi kendaraan bermotor saat ini maka cadangan minyak dunia hanya akan bertahan selama 70 tahun, padahal jumlah kendaraan bermotor akan berlipat ganda dalam 30 tahun ke depan. Jika kita tidak menemukan suatu inovasi baru dalam beberapa tahun kedepan maka dipastikan kita akan kehabisan minyak bumi.

Indonesia adalah salah satu negara di dunia yang memiliki iklim tropis. Iklim tropis memiliki karakteristik yaitu memiliki tanah yang subur sehingga tanaman-tanaman bisa tumbuh dengan baik selain itu iklim tropis juga memiliki curah hujan yang tinggi. Banyak jenis-jenis tanaman yang tumbuh di Indonesia akan tetapi masih banyak yang belum diolah menjadi produk yang bernilai tinggi. Salah satu tanaman yang belum dimanfaatkan dengan baik yaitu tanaman nyamplung (*Calophyllum inophyllum*). Tanaman nyamplung tumbuh di beberapa daerah di Indonesia. Tanaman nyamplung memiliki beberapa keunggulan yaitu pemanfaatannya tidak berkompetensi dengan kepentingan pangan, tanaman tumbuh merata secara alami dan berbuah sepanjang tahun, tanaman relatif mudah dibudidayakan sebagai tanaman monokultur maupun pola tanam campuran, mudah diperbanyak, hampir seluruh bagian tanaman dapat dimanfaatkan dan bernilai ekonomi, tegakan hutan dapat bermanfaat sebagai pemecah angin dan konservasi sepadan pantai, dan pemanfaatan biodiesel dapat menekan laju penebangan pohon sebagai kayu bakar (Balitbang Kehutanan, 2008).

Biji tanaman nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) merupakan salah satu bahan bakar diesel alternatif dari sumber terbarukan atau sering disebut dengan biodiesel karena

memiliki komposisi ester asam lemak. Biji *Calophyllum inophyllum* mengandung lipid (63,1%), *fiber* (16,64%), abu (3,22%), protein (3,42%), kelembaban (4,15%), dan *nitrogen free extract* (13.62%) dan juga memiliki nilai kalori 6092 kal/gr. Lipid mengandung asam lemak bebas (8,23%), monogliserida (3,93%), digliserida (3,37%), trigliserida (81.06%) dan *bioactive* (3,4%). Biodiesel memiliki beberapa keunggulan yaitu dapat diperbaharui, merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan, dapat menurunkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, memiliki nilai cetana yang tinggi dan *volatile* rendah, dapat diproduksi dalam skala kecil menengah sehingga bisa diproduksi di pedesaan, dan menghasilkan emisi CO, emisi HC dan tingkat kepekatan gas buang (*smoke*) yang lebih rendah dari pada solar. Melihat bahwa minyak biji *Calophyllum inophyllum* memiliki prospek positif sebagai sumber bahan bakar alternatif maka perlu ditinjau lebih lanjut apabila minyak biji *Calophyllum inophyllum* dapat dicampur dengan solar.

Dalam proses pencampuran minyak biji *Calophyllum inophyllum* dengan solar haruslah diketahui karakteristik dari masing-masing bahan bakar tersebut. Karakteristik dari kedua bahan bakar tersebut akan mempengaruhi performa dan emisi pada motor diesel yang akan diujikan. Selain dari karakteristik bahan bakar, Faktor lain yang dapat mempengaruhi performa dan emisi pada motor diesel yaitu dengan memberikan *treatment* terhadap campuran minyak biji *Calophyllum inophyllum* dengan solar berupa pemanasan sebelum bahan bakar tersebut masuk ke ruang bakar. Proses pemanasan bahan bakar dilakukan untuk menurunkan viskositas dari bahan bakar, sehingga apabila diinjeksikan ke dalam ruang bakar akan membentuk butiran kabut bahan bakar yang lebih halus sehingga menyebabkan proses pencampuran bahan bakar menjadi lebih homogen. Apabila campuran bahan bakar homogen maka proses pembakaran akan lebih sempurna. Pembakaran sempurna akan meningkatkan performa dan menurunkan nilai emisi pada motor diesel. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *preheater* terhadap emisi mesin diesel dengan bahan bakar campuran solar dan minyak biji *Calophyllum inophyllum*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi temperatur *preheating* bahan bakar terhadap emisi gas buang mesin diesel Yanmar L70N dengan bahan bakar campuran solar dan minyak biji *Calophyllum inophyllum*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah untuk membuat penelitian ini lebih terkontrol adalah:

1. Pengujian dilakukan dalam temperatur ruangan 25-30°C
2. *Losses* yang terjadi pada saluran fluida dan transmisi diabaikan
3. Sistem beroperasi dalam kondisi *steady state*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui pengaruh variasi temperatur *preheating* dan penambahan minyak biji *Calophyllum inophyllum* pada solar terhadap emisi motor diesel Yanmar (tipe L70N-METM).
2. Mengetahui emisi dari motor diesel Yanmar (tipe L70N6-METM) dengan settingan terbaik pada temperatur *preheating* serta persentase campuran minyak biji *Calophyllum inophyllum* terbaik terhadap solar.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diperoleh antara lain:

1. Memberikan gambaran terhadap masyarakat luas bahwa terdapat bahan bakar alternatif yang bisa digunakan sebagai pengganti dari minyak bumi.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur *preheating* pada bahan bakar campuran minyak biji *Calophyllum inophyllum* dengan solar pada mesin diesel terhadap emisi yang akan dihasilkan sekaligus bisa dijadikan referensi untuk penelitian kedepannya dalam bidang yang sama.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Soares et al. (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh pemanasan awal dan medan elektromagnet pada biodiesel minyak jarak terhadap daya dan kepekatan gas buang pada motor diesel 4 tak 4 silinder. Eksperimen menggunakan mobil Chevrolet/Isuzu. Bahan bakar biosolar yang dicampur dengan minyak jarak dengan perbandingan 50:50. Putaran mesin divariasikan sebesar 2000, 2500 dan 3000 rpm. Pemanasan awal divariasasi sebesar 50°C dan 60°C menggunakan *heater*. Medan elektromagnet diberikan dengan magnet yang dihasilkan listrik pada kabel lilitan. Pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan daya, konsumsi bahan bakar dan kepekatan gas buang. Daya diukur dengan pemberian beban sebesar 2 kg pada poros *prony break*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanasan pada bahan bakar berpengaruh terhadap daya motor diesel 4 tak 4 silinder. Pemberian medan magnet yang berbasis elektromagnetik berpengaruh terhadap daya dan kepekatan gas buang. Pengaruh pemanasan dan medan magnet tersebut adalah bahan bakar menjadi lebih mudah terbakar atau menjadi lebih mudah bereaksi, sehingga pembakaran menjadi lebih efektif. Kepekatan gas buang bahan bakar campuran minyak jarak lebih kecil. Kepekatan gas buang terkecil terjadi pada variasi campuran solar dan minyak jarak dengan perbandingan 50:50 sebesar 12%. Pemanasan bahan bakar juga menyebabkan kepekatan menjadi lebih kecil.

Ashok et al. (2017) melakukan penelitian mengenai penggunaan campuran biodiesel *Calophyllum inophyllum methyl ester* sebagai bahan bakar alternatif pada motor diesel. Variasi bahan bakar yang digunakan yaitu 100% biodiesel *Calophyllum inophyllum* (B100), 30% campuran biodiesel *Calophyllum inophyllum* (B30), 60% campuran biodiesel *Calophyllum inophyllum* (B60) dan 100% bahan bakar solar. Pengujian dilakukan untuk mengetahui performa dan emisi yang dihasilkan dari variasi bahan bakar tersebut. Hasil dari pengujian menunjukan nilai *brake thermal efficiency* semakin menurun dengan bertambahnya persentase campuran biodiesel *Calophyllum inophyllum*. Kandungan NOx mengalami kenaikan dengan bertambahnya persentase campuran biodiesel *Calophyllum inophyllum*. Sedangkan untuk tingkat emisi HC, CO dan opasitas mengalami penurunan dengan bertambahnya persentase campuran biodiesel *Calophyllum inophyllum*.

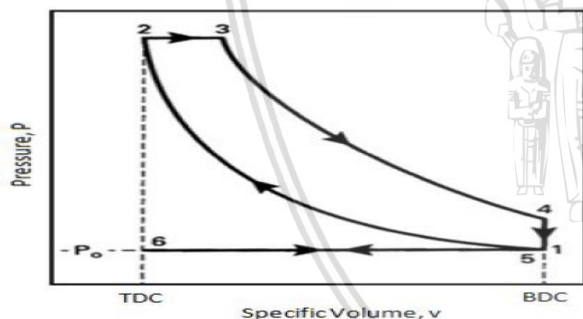
2.2 Dasar Motor Diesel

Motor diesel merupakan salah satu jenis mesin yang telah dikembangkan oleh manusia untuk memenuhi kebutuhannya yaitu kebutuhan tenaga yang besar untuk berbagai keperluan hidupnya. Motor diesel disebut juga motor bakar atau mesin pembakaran dalam karena pengubahan tenaga kimia bahan bakar menjadi tenaga mekanik dilaksanakan di dalam mesin itu sendiri. Motor diesel ditemukan oleh Rudolf Christian Karl Diesel seorang ilmuwan asal Jerman pada tahun 1892.

Konsep pembakaran pada motor diesel adalah melalui proses penyalaan kompresi udara pada tekanan tinggi. Akibatnya udara mempunyai tekanan dan temperatur melebihi suhu dan tekanan penyalaan bahan bakar. Sehingga motor diesel sering disebut juga dengan *compression ignition engine*.

2.2.1 Siklus Mesin Diesel

Siklus diesel adalah siklus teoritis untuk *compression-ignition engine* atau mesin diesel. Perbedaan antara siklus otto dan diesel yaitu penambahan panas pada tekanan tetap. Karena alasan ini siklus Diesel kadang disebut siklus tekanan tetap. Pada Gambar 2.1 menunjukkan diagram P-v pada siklus diesel udara standar yaitu:



Gambar 2.1 Siklus diesel udara standar diagram P-v

Sumber: Arismunandar, wiranto (1988)

Urutan Proses dari siklus diesel diagram P-v yaitu:

- 6-1 = Langkah hisap pada $P = \text{Konstan}$ (isobarik)
- 1-2 = Langkah kompresi, P bertambah, $Q = \text{Konstan}$ (isentropik / reversibel adiabatik)
- 2-3 = Proses pemasukan kalor, pada tekanan tetap (isobarik)
- 3-4 = Langkah kerja (isentropik / reversibel adiabatik)
- 4-5 = Pengeluaran kalor sisa pada $V = \text{Konstan}$ (isokhorik)
- 5-6 = Langkah buang pada $P = \text{Konstan}$

2.2.2 Prinsip Kerja Mesin Diesel 4 Langkah

Mesin diesel akan menghasilkan tenaga/daya jika melalui serangkaian proses yang terus berulang-ulang, atau dikenal dengan terjadinya siklus yang berulang-ulang. Mesin diesel memiliki 4 proses/langkah yaitu langkah isap, kompresi, usaha dan langkah buang. Mesin diesel empat langkah melakukan empat kali gerakan (dua kali putaran engkol) dan menghasilkan satu kali kerja. Prinsip kerja motor diesel empat langkah dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Langkah hisap

Pada langkah ini terjadi proses pemasukan udara pembakaran kedalam silinder. Piston bergerak dari TMA ke TMB, di dalam silinder terjadi kevakuman sehingga saat katup isap/masuk mulai terbuka terjadi aliran udara kedalam silinder. Langkah hisap ini berakhir pada saat katup masuk tertutup. Pada langkah hisap yang masuk kedalam silinder hanya udara saja.

2. Langkah kompresi

Langkah ini dimulai pada saat katup masuk mulai tertutup kemudian piston bergerak dari TMB ke TMA. Kemudian piston akan mengompresikan udara hingga tekanan udara dan temperatur di dalam silinder naik. Temperatur udara didalam silinder naik hingga mencapai titik nyala bahan bakar (solar) pada akhir langkah kompresi. Salah satu tujuan proses kompresi yaitu menyediakan salah satu syarat untuk terjadinya proses pembakaran, yaitu panas untuk menyalakan campuran udara dan bahan bakar.

3. Langkah usaha

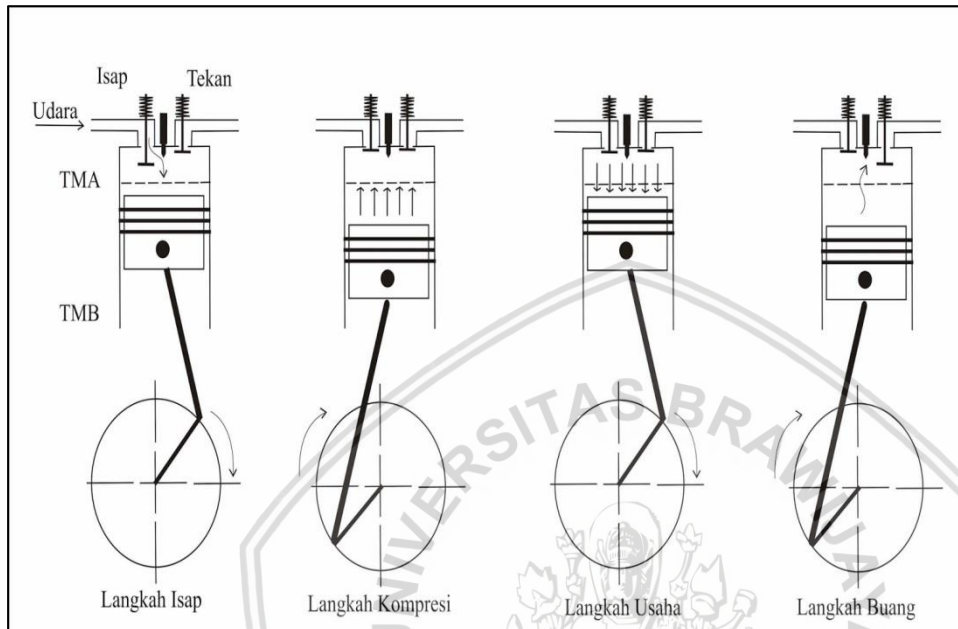
Pada akhir langkah kompresi, bahan bakar diinjeksikan atau dikabutkan ke dalam silinder. Sehingga didalam silinder terdapat tiga unsur wajib dalam terjadinya proses pembakaran yaitu Oksigen (dari udara), CH (dari bahan bakar), dan panas (temperatur udara kompresi yang mencapai titik nyala bahan bakar). Dengan ketersediaan ketiga unsur tersebut akan menyebabkan terjadinya proses pembakaran didalam silinder, dan terjadi kenaikan tekanan. Tekanan hasil pembakaran dikalikan dengan luas piston akan terjadi gaya (*force*) yang mendorong piston melakukan proses usaha dari TMA menuju TMB. Proses usaha berakhir pada saat katup buang mulai terbuka.

4. Langkah buang

Pada langkah ini piston bergerak dari TMB ke TMA untuk mengeluarkan hasil pembakaran yang telah dipergunakan untuk menghasilkan daya. Materi ini sering disebut dengan gas buang, yang masih mengandung panas/kalor dan tekanan yang cukup tinggi. Agar tidak menjadi materi pencemar udara, gas buang dikelola

menggunakan *exhaust system*. Sehingga *exhaust system* bertugas untuk memproses gas buang sehingga layak untuk dibuang ke udara luar. Proses pembuangan ini dimulai saat katup buang mulai terbuka dan berakhir saat katup buang mulai tertutup.

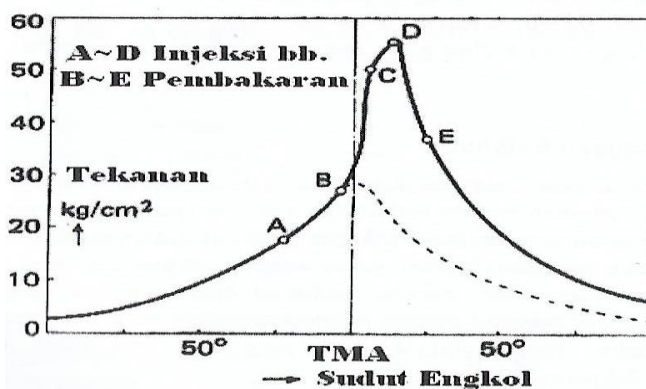
Skema dari langkah gerakan piston didalam silinder pada motor diesel 4 langkah ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema langkah kerja pada motor bakar 4 langkah
Sumber: Sukoco, Arifin (2008)

2.2.3 Proses Pembakaran Motor Diesel

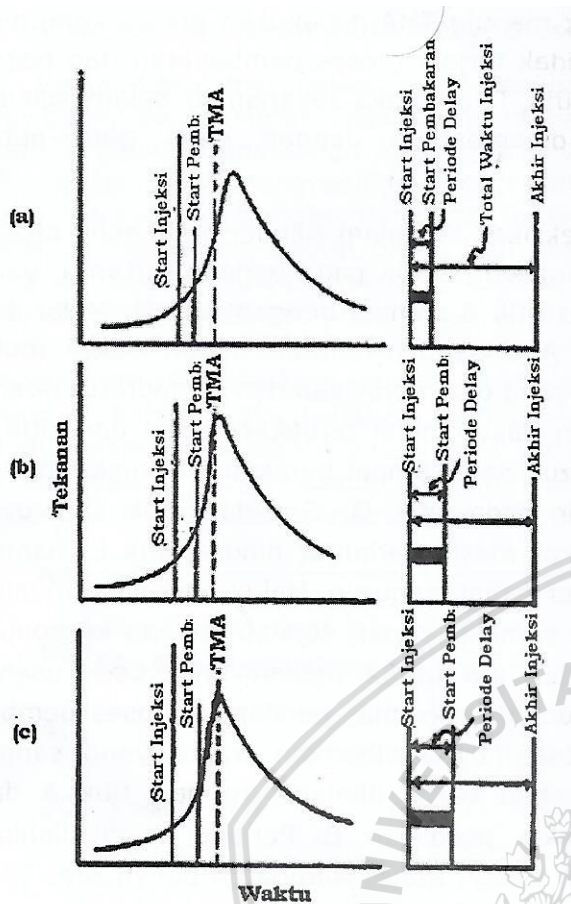
Motor diesel merupakan mesin pembangkit tenaga, dengan input bahan bakar. Motor diesel merupakan mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Dengan demikian tujuan proses pembakaran adalah menghasilkan energi panas dan menaikkan tekanan yang tinggi didalam silinder, tekanan tersebut untuk dikonversikan menjadi energi mekanik pada poros engkol.



Gambar 2.3 Proses injeksi dan pembakaran pada motor diesel
Sumber: Sukoco, Arifin (2008)

Pada Gambar 2.3 merupakan diagram P-V yang menggambarkan proses pembakaran yang terjadi didalam silinder motor diesel. Garis vertikal menunjukkan garis tekanan sedangkan garis horizontal menunjukkan skala sudut engkol. Garis sebelum TMA naik menggambarkan kenaikan tekanan saat piston bergerak menuju TMA melakukan proses kompresi. Apabila didalam silinder tidak terjadi proses pembakaran dan piston bergerak kembali menuju TMB, maka tekanan di dalam silinder akan menurun dan digambarkan dengan garis putus-putus sesudah TMA.

Bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder pada akhir proses kompresi, tidak sekali injeksi akan tetapi pada periode tertentu, yang digambarkan mulai dari titik A sampai dengan titik D. Titik A merupakan awal dimulainya proses injeksi kemudian kabutan bahan bakar mulai bertemu dengan udara yang dikompresikan di dalam silinder. Pada titik B bahan bakar mulai terbakar dan pada titik B garis grafik tekanan akan terus mengalami kenaikan sampai berakhirnya injeksi bahan bakar kedalam silinder pada titik D. Setelah di titik D proses pembakaran terus berlanjut hingga titik E, namun tekanan didalam silinder mulai menurun dikarenakan pemuatan ruang di dalam silinder semakin cepat, sejalan dengan kecepatan piston bergerak menuju TMB untuk melakukan proses usaha. Proses pembakaran pada motor diesel hanya diberikan waktu yang sangat singkat yaitu dimulai ketika bahan bakar diinjeksikan dari titik A dan mulai terbakar pada titik B. Periode ini disebut sebagai periode *ignition delay* atau kelambatan penyalaan. Pada proses tersebut terjadi proses pencampuran udara dan bahan bakar yang ditentukan oleh dua kondisi yang diberikan yaitu proses atomisasi dan penetrasi. Penetrasi merupakan kemampuan butiran bahan bakar menembus udara bertekanan tinggi untuk menyebar keseluruh ruang pembakaran, dan penyebaran tersebut menentukan kondisi homogenitas campuran. Sedangkan atomisasi menentukan kecepatan bahan bakar menguap. Periode *ignition delay* menentukan kualitas yang terjadi pada titik B apakah titik tersebut maju, mundur, atau mungkin tidak terjadi. Kualitas yang diharapkan terjadi pada titik B adalah dihasilkan jarak yang pendek dengan titik A. Apabila titik B semakin mundur, maka pada motor diesel akan semakin besar terjadinya fenomena detonasi seperti terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Pengaruh *ignition delay*
 Sumber: Sukoco, Arifin (2008)

1. Periode *igniton delay* pendek, proses kenaikan tekanan berjalan normal dan halus
2. Periode *ignition delay* lebih panjang, terjadi kenaikan tekanan yang tajam dan getaran
3. Periode *ignition delay* makin panjang, terjadi detonasi didalam silinder, garis tekanan bergelombang.

Ignition delay merupakan proses untuk mempersiapkan reaksi antara bahan bakar dengan udara tersebut. *Ignition delay* yang baik yaitu *ignition delay* yang pendek sehingga tidak terjadi penumpukan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan kedalam silinder. Semakin panjang *ignition delay* maka akan semakin terasa terjadinya detonasi didalam silinder. Detonasi merupakan fenomena peningkatan tekanan secara mendadak didalam silinder. Pada motor diesel tekanan mendadak akan terjadi saat terjadi pembakaran bahan bakar dalam jumlah banyak sekaligus.

2.3 Bahan Bakar Diesel

Bahan bakar diesel adalah salah satu jenis produk yang dihasilkan dalam kegiatan pengolahan minyak bumi atau sering disebut dengan minyak mentah. Bahan bakar diesel adalah hidrokarbon yang merupakan senyawa antara hidrogen dan karbon, seperti *benzene*,

pentane, hexane, toluene, propane, dan butane. Minyak mentah di *treatment* menggunakan panas dengan tujuan untuk mencapai titik uap masing-masing hidrokarbon sehingga hidrokarbon dengan titik didih paling rendah akan keluar terlebih dahulu, yaitu natural gas dengan LPG (*Liquid Petroleum Gas*) yang digunakan untuk keperluan industri dan rumah tangga. Tahap selanjutnya adalah menaikkan temperatur minyak mentah kembali untuk menghasilkan hidrokarbon yang memiliki titik didih yang lebih tinggi. Produk yang dihasilkan pada tahap ini adalah *High Octane Aviation Gasoline*.

Setelah selesai temperatur minyak mentah dinaikkan kembali untuk menghasilkan hidrokarbon dengan titik didih yang lebih tinggi lagi dan seterusnya hingga diperoleh *gasoline, kerosine, bahan bakar diesel, lubricating oil, parafine* dan yang terakhir *coke* dan aspal.

2.3.1 Karakteristik Umum Bahan Bakar Diesel

Karakteristik umum yang perlu diketahui untuk menilai kinerja bahan bakar diesel yaitu nilai pembakaran, berat jenis, titik nyala (*flash point*), titik beku (*pour point*), kekentalan (*Viscosity*), titik uap (*volatility*), angka cetana, karbon residu, dan kandungan sulfur.

1. Viskositas

Viskositas adalah sifat benda cair yang memberikan gaya bertahan untuk tidak mengalir. Viskositas diukur dengan mengamati jumlah waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan benda cair tersebut melalui lubang kecil yang ditentukan. Untuk mengukur viskositas dapat menggunakan *viscometer*. Viskositas pada bahan bakar diesel memiliki fungsi sebagai pelumas komponen sistem bahan bakar. Akan tetapi ketika viskositas bahan bakar terlalu tinggi menyebabkan proses atomisasi bahan bakar menjadi buruk. Semakin rendah nilai viskositas dari biodiesel maka proses atomisasi bahan bakar akan semakin baik.

2. Angka Cetana

Kualitas penyalaan merupakan kecepatan bahan bakar dinyalakan dan pada bahan bakar motor diesel dinamakan dengan angka cetana. Untuk mengukur besar dari angka cetana dapat dilakukan dengan membandingkan bahan bakar dengan *cetane* ($C_{16}H_{34}$) senyawa hidrokarbon cair tidak berwarna yang kualitas penyalaannya ekselen dengan rate 100. Sementara angka terkecilnya adalah *A-Methyl Naptahlene* yaitu senyawa dengan kelambatan penyalaan besar dengan rate = 0. Angka cetana yang tinggi

mengakibatkan semakin pendek waktu yang diperlukan agar bahan bakar tersebut untuk mulai terbakar.

3. Titik Uap (*volatility*)

Volatility adalah kemampuan bahan bakar untuk berubah menjadi uap atau vapor. Apabila *Volatility* bahan bakar rendah, saat bahan bakar di bakar akan meningkatkan jumlah kotoran karbon didalam silinder, dan akan menyebabkan bertambahnya keausan pada komponen mesin. Di samping itu, juga dapat mengakibatkan bertambahnya kepekatan gas buang.

4. Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar yang akan timbul penyalan api sesaat ketika dipantik. Titik nyala tidak mempunyai pengaruh yang besar dalam persyaratan pemakaian bahan bakar untuk mesin diesel. Akan tetapi berkaitan dengan keamanan bahan bakar tersebut ketika disimpan.

2.4 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran *mono-alkyl ester* dari rantai panjang asam lemak yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel dan terbuat dari sumber yang dapat diperbarui seperti minyak sayur atau lemak hewan. Biodiesel mempunyai rantai karbon berkisar antara 12 hingga 20 serta mengandung oksigen. Hal itulah yang membedakannya dengan petroleum diesel yang komponen utamanya adalah hidrokarbon. Dengan adanya oksigen maka biodiesel memiliki *flash point* yang lebih tinggi dari *petroleum diesel* sehingga tidak mudah terbakar. Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan karena biodiesel dapat mengurangi emisi gas karbon monoksida (CO) sekitar 50% dan bebas kandungan sulfur. Biodiesel dapat diperoleh dari minyak tumbuhan yang berasal dari sumberdaya yang dapat diperbarui .

Biodiesel adalah senyawa *methyl ester* atau *ethyl ester* yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak bumi. Beberapa jenis tumbuhan dapat diolah menjadi biodiesel yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1
Sumber Minyak Nabati Sebagai Bahan Baku Biodiesel

Nama Lokal	Nama Latin	Sumber Minyak	Isi % Berat Kering
Jarak Pagar	<i>Jatropha Curcas</i>	Inti biji	40-60
Jarak Kaliki	<i>Ricinus Communis</i>	Biji	45-50
Kacang Suuk	<i>Arachis Hypogen</i>	Biji	35-55
Kapok/Randu	<i>Ceiba Pantandra</i>	Biji	24-40
Karet	<i>Hevea Brasiliensis</i>	Biji	40-50
Kecipir	<i>Psophocarpus Tetrag</i>	Biji	15-20
Kelapa	<i>Cocos Nucifera</i>	Inti Biji	60-70
Kelor	<i>Moringa Oleifera</i>	Biji	30-49
Kemiri	<i>Aleurites Moluccana</i>	Inti Biji	57-69
Kusambi	<i>Sleichera Trijuga</i>	Sabut	55-70
Nimba	<i>Azadirucha Indica</i>	Inti Biji	40-50
Saga Utan	<i>Adenanthra Pavonina</i>	Inti Biji	14-28
Sawit	<i>Elaeis Suincensis</i>	Sabut dan biji	45-70 dan 46-54
Nyamplung	<i>Callophyllum</i>	Inti Biji	40-73
	<i>Lanceatum</i>		
Randu Atas	<i>Bombax Malabaricum</i>	Biji	18-26
Sirsak	<i>Annona Muriscata</i>	Inti biji	20-30
Srikaya	<i>Annona Squosa</i>	Biji	15-20

Sumber: Hambali, E (2007)

Biodiesel sendiri memiliki kelebihan dan kekurangan jika dibandingkan dengan bahan bakar solar. Kelebihan dari biodiesel yaitu:

1. Biodiesel merupakan sumber energi terbarukan
2. Biodiesel memiliki nilai cetana yang tinggi, dan bebas sulfur
3. Lebih Ramah lingkungan jika dibandingkan dengan solar
4. Menurunkan keausan ruang piston karena sifat pelumasan bahan bakar yang bagus (kemampuan untuk melumasi mesin dan sistem bahan bakar)
5. Aman dalam penyimpanan dan transportasi karena tidak mengandung racun. Biodiesel tidak mudah terbakar karena memiliki titik bakar yang relatif tinggi
6. Meningkatkan produk pertanian Indonesia
7. Memungkinkan diproduksi dalam skala kecil menengah sehingga bisa diproduksi di perdesaan
8. Menurunkan ketergantungan suplai minyak dari negara asing

Sedangkan kekurangan yang dimiliki oleh biodiesel jika dibandingkan dengan bahan bakar solar yaitu:

1. Memiliki viskositas dan tegangan permukaan yang tinggi akan menyebabkan tetesan yang lebih besar yang dapat menyebabkan masalah dengan sistem injeksi bahan bakar.
2. Minyak nabati mengandung lebih banyak senyawa tidak jenuh dibandingkan dengan bahan bakar solar, sehingga biodiesel jauh lebih mudah mengalami oksidasi.

Di dalam dunia industri yang memproduksi bahan bakar biodiesel sudah memiliki standar tertentu yang sudah di formulasikan. Di negara Uni Eropa menggunakan standar EN14214 sedangkan ASTM juga mengeluarkan standar biodiesel sendiri yaitu ASTM D6751 yang digunakan di beberapa negara di dunia. Indonesia juga memiliki standar sendiri untuk biodiesel yaitu SNI 04-7182-2006 yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2
Syarat Mutu Biodiesel SNI 04-7182-2006

No	Parameter Uji	Satuan, min/maks	Persyaratan
1	Massa jenis pada 40°C	kg/m ³	850-890
2	Viskositas kinematik pada 40 °C	mm ² /s (cSt)	2,3-6
3	Angka setana	Min	51
4	Titik nyala (mangkuk tertutup)	°C, min	100
5	Titik kabut	°C, maks	18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50 °C)	Nomor 1	
7	Residu karbon - dalam percontoh asli	%-massa, maks	0,05
	Atau - dalam 10 % ampas distilasi		0,3
8	Air dan sedimen	%-vol., maks	0,05
9	Temperatur distilasi 90 %	°C, maks	360
10	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02
11	Belerang	mg/kg, maks	100
12	Fosfor	mg/kg, maks	10
13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,6
14	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02
15	Gliserol total	%-massa, maks	0,24
16	Kadar ester metil	% massa, min % massa	96,5
17	Angka iodium	(g-I ₂ /100 g), maks	115

Sumber: Badan Standardisasi Nasional (2006)

2.4.1 Perbandingan Karakteristik Bahan Bakar Biodiesel dan Diesel

Karakteristik umum yang perlu diketahui untuk menilai kinerja bahan bakar biodiesel yaitu nilai pembakaran, berat jenis, titik nyala (*flash point*), titik beku (*poor point*), kekentalan (*Viscosity*), titik uap (*volatility*), angka cetana, carbon residu, dan kandungan sulfur. Berikut ini adalah beberapa perbandingan karakteristik antara bahan bakar diesel dan biodiesel yaitu:

1. Viskositas

Viskositas pada biodiesel lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar diesel. Menurut Felizardo et al. (2006) viskositas yang terlalu tinggi menyebabkan proses penginjeksian dan atomisasi bahan bakar tidak dapat berlangsung dengan baik, sehingga akan menghasilkan pembakaran yang kurang sempurna yang dapat mengakibatkan terbentuknya deposit dalam ruang bakar. Selain itu, proses thermal di dalam mesin menyebabkan minyak nabati yang merupakan senyawa trigliserida akan terurai menjadi gliserin dan asam lemak. Asam lemak dapat teroksidasi atau terbakar relatif sempurna, akan tetapi gliserin akan menghasilkan pembakaran yang kurang sempurna dan dapat terpolimerisasi menjadi senyawa plastik yang agak padat. Senyawa ini dapat menyebabkan kerusakan pada mesin, karena akan membentuk deposit pada pompa dan *nozzle injector*. Beberapa cara dapat dilakukan untuk menurunkan viskositas pada biodiesel seperti melakukan pemanasan terhadap biodiesel, pencampuran dengan bahan bakar solar dan melakukan transesterifikasi.

2. Cetane Number

Cetane number menunjukkan kemampuan bahan bakar untuk menyala sendiri (*auto ignition*). *Cetane number* pada biodiesel lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar diesel. *Cetane number* pada bahan bakar diesel yaitu 20-60 sedangkan pada bahan bakar biodiesel lebih tinggi dari 60. Hal ini disebabkan karena pada biodiesel memiliki rantai karbon asam lemak yang lebih panjang dan molekul yang lebih jenuh. *Cetane number* yang tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar dapat menyala pada temperatur yang relatif rendah. Bahan bakar yang mempunyai *cetane number* yang tinggi dapat mencegah terjadinya detonasi dan *knocking* dikarenakan begitu bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder pembakaran, bahan bakar akan langsung terbakar dan tidak terakumulasi.

3. Flash Point

Flash point merupakan titik nyala pada suatu bahan bakar pada suhu terendah dimana bahan bakar menghasilkan uap dan bercampur dengan udara dan membentuk

campuran yang dapat terbakar. Nilai *flash point* pada biodiesel lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar solar. Nilai *flash point* pada biodiesel yaitu sebesar 167°C sedangkan pada bahan bakar solar sebesar 52°C. Nilai *flash point* yang tinggi akan menyebabkan waktu penyalaan bahan bakar tersebut semakin lama karena kecepatan penguapannya yang lambat.

2.5 Bahan Bakar Minyak Nyamplung

Di Indonesia terdapat banyak tumbuhan yang memiliki kandungan minyak nabati seperti Kelapa Sawit, Jarak, Kemiri dan Nyamplung. Di Indonesia, nyamplung banyak dijumpai di daerah sepanjang pantai yang beriklim tropik. Namun, tanaman dapat beradaptasi dengan baik pada ketinggian 100 - 350 mdpl. Tanaman nyamplung mempunyai sebaran yang cukup luas di dunia meliputi Madagaskar, Afrika Timur, Asia Selatan dan Tenggara, Kepulauan Pasifik, Hindia Barat, dan Amerika Selatan. Di Indonesia tanaman tersebar di Pulau Sumatera, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, Alor, Sulawesi, Kalimantan, Timor dan Ternate (Balitbang Kehutanan, 2008).



Gambar 2.5 Biji Nyamplung
Sumber: Balitbang Kehutanan (2008)

Nyamplung (*Callophylum inophyllum*) mengandung minyak nabati yang sangat potensial untuk di manfaatkan menjadi biodiesel. Keunggulan biji nyamplung sebagai bahan baku biofuel adalah biji menghasilkan kandungan minyak nabati yang tinggi, antara 40-73% (jarak pagar 40% - 60%, sawit 46% - 54%). Keunggulan lain yang dimiliki oleh Tanaman nyamplung yaitu:

1. Pemanfaatannya tidak berkompetensi dengan kepentingan pangan
2. Tanaman nyamplung mudah untuk dibudidayakan
3. Tanaman nyamplung tumbuh merata secara alami dan berbuah sepanjang tahun
4. Pemanfaatan biodiesel dapat menekan laju penebangan pohon sebagai kayu bakar

2.5.1 Karakteristik Umum Bahan Bakar Minyak Nyamplung

Untuk menghasilkan minyak nyamplung harus melalui beberapa tahapan proses, yaitu proses pengeringan biji, pengepresan biji, *degumming*, esterifikasi, transesterifikasi, dan pencucian. Karakteristik minyak nyamplung sebelum dan sesudah *degumming* dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3
Sifat Fisiko Kimia Minyak Nyamplung

Karakteristik	Sebelum <i>degumming</i> (<i>crude oil</i>)	Setelah <i>degumming</i> (<i>refined oil</i>)
Kadar air (%)	0,25	0,41
Densitas pada suhu 20°C (g/ml)	0,944	0,940
Viskositas suhu 40°C (cP)	56,7	53,4
Bilangan asam (mg KOH/g)	59,94	54,18
Kadar asam lemak bebas (%)	29,53	27,21
Bilangan penyabunan (mg KOH/g)	198,1	194,7
Bilangan iod (mg/g)	86,42	85,04
Indeks refraksi	1,447	1,478
Penampakan	Hijau gelap dan kental dengan bau menyengat	Kuning kemerahan dan kental

Sumber: Balitbang Kehutanan (2008)

Minyak nyamplung tergolong minyak dengan asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh yang berantai karbon panjang, dengan kandungan utama berupa asam oleat 37,57%, asam linoleat 26,33%, dan asam stearat 19,96%. Selebihnya berupa asam miristat, asam palmitat, asam linolenat, asam arachidat, dan asam erukat (Balitbang Kehutanan, 2008).

Tabel 2.4
Komposisi Asam Lemak Minyak Nyamplung Dibanding Minyak Jarak Pagar dan Minyak Sawit

Komponen	Minyak Nyamplung (%)	Minyak jarak pagar (%)	Minyak sawit (%)
Asam miristat (C14)	0,09	-	0,70
Asam palmitat (C16)	14,60	11,90	39,20
Asam stearat (C18)	19,96	5,20	4,60
Asam oleat (C18:1)	37,57	29,90	41,40
Asam linoleat (C18:2)	26,33	46,10	10,50
Asam linolenat (C18:3)	0,27	4,70	0,30
Asam arachidat (C20)	0,94	-	-
Asam erukat (C20:1)	0,72	-	-
Jumlah	98,46	93,10	95,70

Sumber: Balitbang Kehutanan (2008)

Tabel 2.4 menunjukkan bahwa minyak nyamplung memiliki komposisi asam lemak yang mirip dengan minyak jarak pagar maupun minyak sawit yang sudah dicoba dan digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Adapun karakteristik fisiko kimia

biodiesel nyamplung dibandingkan dengan standar SNI 04-7182-2006 dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5

Sifat Fisiko Kimia Biodiesel Nyamplung Dibandingkan Dengan Standard SNI 04-7182-2006

Karakteristik	Biodiesel Nyamplung	Standar SNI
Massa jenis pada 40°C (kg/m ³)	888,6	850-890
Viskositas kinematik pada 40°C (mm ² /s(cSt)	7,724	2,3-6,0
Bilangan setana	51,9	Min. 51
Titik nyala (mangkuk tertutup) (°C)	151	Min 100
Titik kabut (°C)	38	Maks.18
Korosi kepingan tembaga	1b	Nomor 1
Air dan sedimen (% volume)	0	Maks 0,05
Suhu distilasi 90% (°C)	340	Maks 360
Abu tersulfatkan% massa	0,026	Maks 0,02
Belerang ppm (mg/kg)	16	Maks 100
Fosfor ppm (mg/kg)	0,233	Maks 10
Bilangan asamMg KOH/g	0,76	Maks 0,8
Gliserol total (% massa)	0,232	Maks 0,24
Kadar ester alkil (% massa)	97,80	Min 96,5
Bilangan iodium (% massa)	85	Maks 115

Sumber: Balitbang Kehutanan (2008)

2.5.2 Bahan Bakar Campuran Solar dan Biodiesel Minyak Nyamplung

Biodiesel dapat digunakan sebagai campuran dengan bahan bakar solar ataupun digunakan secara murni. Biodiesel murni dapat ditulis dengan B100, yang menunjukkan bahwa biodiesel tersebut murni 100% monoalkil ester. Sedangkan biodiesel campuran ditandai dengan “BXX” dimana “XX” menyatakan persentase komposisi biodiesel yang terdapat pada campuran, misalkan B20 berarti terdapat biodiesel 20% dan minyak solar 80%. Jika ingin menggunakan biodiesel murni (B100) maka perlu dilakukan sedikit penyesuaian pada kontruksi mesin diesel. Penyesuaian dibutuhkan jika penyimpanan atau wadah biodiesel terbuat dari bahan yang sensitif dengan biodiesel seperti *seal*, gasket, dan perekat terutama mobil lama dan yang terbuat dari karet alam dan karet nitril. Pencampuran biodiesel dengan solar dilakukan dengan tujuan untuk menurunkan emisi gas buang.

Rizwanul Fattah et al. (2014) melakukan penelitian mengenai uji performa dan emisi pada mesin diesel 4 silinder menggunakan biodiesel *Calophyllum inophyllum* dengan persentase 10% dan 20% (B10 dan B20) dengan kondisi pembebanan konstan dan variasi kecepatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *brake power* pada B10 dan B20 mengalami penurunan sebesar 0,36 – 0,76% dibandingkan dengan solar. Kadar emisi HC dan CO pada B10 dan B20 juga mengalami penurunan masing-masing sebesar 9,26-17,04 % dan 15,12-26,84% jika dibandingkan dengan solar. Sedangkan emisi NO_x pada B10 dan B20 mengalami kenaikan sebesar 2,12-8,32% jika dibandingkan dengan bahan bakar solar.

2.6 Preheating

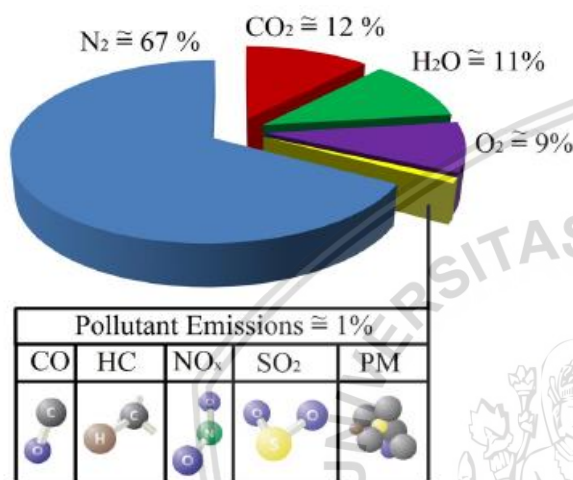
Preheating adalah suatu proses pemanasan awal suatu materi sebelum materi tersebut memasuki proses di alat berikutnya. *Preheating* memiliki beberapa fungsi yaitu mengurangi konsumsi energi dan mengurangi perbedaan temperatur yang tinggi, karena pemanasan yang berlebihan atau tidak merata.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan oleh Rabelo et al. (2000) penurunan viskositas pada beberapa jenis asam lemak akan terjadi seiring dengan peningkatan suhu dan bertambah panjangnya pipa pemanas. Viskositas menurun dengan cepat pada rentang suhu 44-75°C selanjutnya penurunan viskositas terjadi dengan lambat. Hal ini disebabkan karena pada saat minyak dipanaskan, maka akan terjadi pergeseran jarak molekul dalam minyak menjadi lebih besar sehingga volume minyak tersebut berubah. Namun ketika minyak dipanaskan lebih lanjut, pergeseran molekul minyak sudah berada pada jarak yang maksimum sehingga sulit untuk meregangkan jarak menjadi lebih besar lagi. Akibatnya penurunan viskositas pun terjadi dengan lebih lambat. Sehingga bila diinjeksikan ke dalam ruang bakar akan membentuk butiran kabut bahan bakar yang lebih halus yang akan menyebabkan proses pencampuran bahan bakar dan udara menjadi lebih homogen. Apabila bahan bakar dan udara tercampur secara homogen maka pembakaran akan lebih sempurna sehingga menghasilkan gas buang dengan kandungan karbonmonoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) yang lebih sedikit.

2.7 Emisi

Gas buang yang dihasilkan pada kendaraan bermotor merupakan hasil (sisa) pembakaran bahan bakar yang terdiri dari gas yang tidak beracun yaitu N₂ (nitrogen), CO₂ (karbon dioksida) dan H₂O (uap air) dan sebagian kecil merupakan gas beracun seperti NO_x (Nitrogen oksida), HC (*Hydro Carbon*) dan CO (Karbon monoksida) (Sukoco dan

Arifin, 2008). Pada emisi diesel memiliki emisi polutan yang terdiri dari CO, HC, NO_x, SO₂, dan PM (*Particulate Matter*). Jumlah persentase kandungan emisi polutan yaitu 1 % dimana persentase tertinggi kandungan emisi polutan yaitu NO_x dengan persentase 50 % kemudian diikuti oleh PM sedangkan jumlah emisi HC dan CO jumlahnya sangat sedikit. Kandungan emisi N₂ memiliki persentase tertinggi dalam total keseluruhan emisi yang dihasilkan oleh mesin diesel yaitu 67 % kemudian diikuti oleh CO₂, H₂O dan O₂ dengan persentase 12 %, 11 % dan 9 % (Khair dan Majewski,2006).



Gambar 2.6 Persentase kandungan emisi diesel
Sumber: Khair and Majewski (2006)

1. Karbon monoksida (CO)

Karbon monoksida adalah gas yang tak berwarna, tak berbau, dan tak berasa. Karbon monoksida (CO) terbentuk karena kurangnya oksigen di dalam reaksi dengan bahan bakar pada saat proses pembakaran. Apabila terjadi kekurangan oksigen (udara) maka akan terjadi proses pembakaran yang tidak sempurna sehingga karbon di dalam bahan bakar terbakar dalam suatu proses sebagai berikut.



Sumber: Sukoco, Arifin (2008)

Karbon monoksida yang dikeluarkan oleh mesin kendaraan banyak dipengaruhi oleh perbandingan campuran dan jumlah *supply* antara udara dengan bahan bakar yang dihisap oleh mesin. Untuk mengurangi CO dapat dilakukan dengan membuat perbandingan campuran bahan bakar dibuat kuno (*excess air*).

2. Karbon dioksida (CO₂)

Karbon dioksida atau zat asam arang adalah senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon. Karbon dioksida

(CO₂) merupakan salah satu produk dari pembakaran yang dihasilkan ketika karbon dari bahan bakar dioksidasi secara sempurna sehingga karbon didalam bahan bakar terbakar dalam suatu proses sebagai berikut.



Sumber: Sukoco, Arifin (2008)

3. Hidrokarbon (HC)

Pembentukan HC terjadi dikarenakan adanya molekul hidrogen dan karbon dalam bahan bakar yang tidak terbakar sempurna (*unburned*) selama pembakaran berlangsung.

4. Opasitas

Opasitas merupakan suatu indikator derajat kegelapan dan tembus pandang tidaknya suatu emisi gas buang. Semakin tinggi opasitasnya, artinya semakin tinggi persentase tidak tampaknya suatu benda akibat emisi gas buang ini.

2.8 Stargas Analyzer dan Smoke Analyzer

Stargas Analyzer merupakan suatu alat instrumentasi yang memiliki fungsi untuk mengukur komposisi gas. Adapun gas yang diukur yaitu CO, CO₂, O₂, HC, putaran motor (rpm), temperatur mesin dan udara berlebih (*excess air*) yang keluar dari saluran gas buang. Penggunaan alat ini tergolong mudah yaitu dengan cara memasang alat tersebut pada ujung lubang pembuangan mesin diesel yang digunakan kemudian alat tersebut akan membaca semua data setelah itu data tersebut dapat dilihat langsung dari alat tersebut. Sedangkan *Smoke Analyzer* merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kepekatan gas buang (opasitas) yang dihasilkan oleh mesin diesel.

2.9 Hubungan Pemasasan Bahan Bakar Terhadap Emisi Bahan Bakar

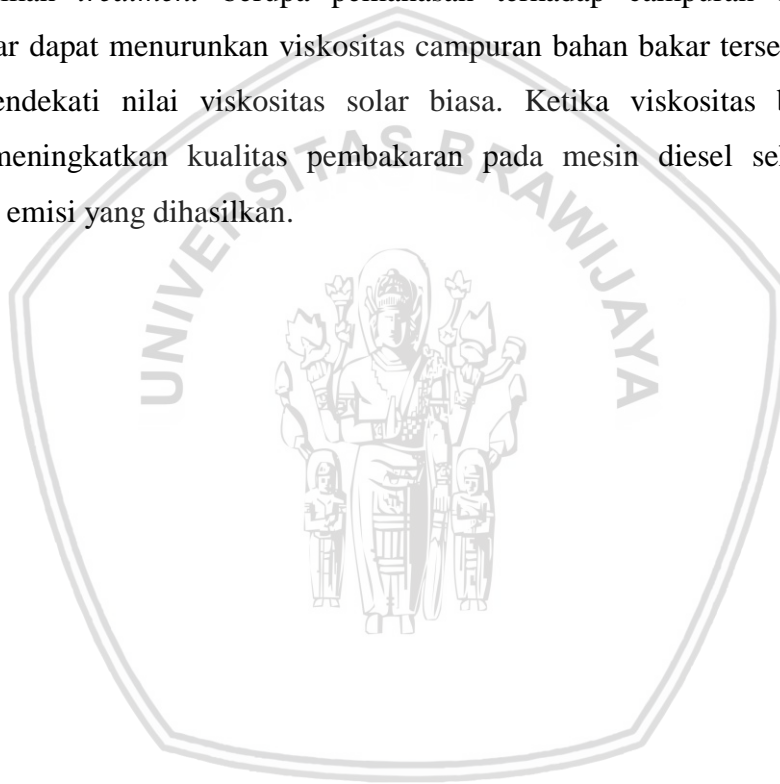
Suyanto (1989:257) menyatakan bahwa proses pembakaran bahan bakar yang terjadi didalam silinder dipengaruhi oleh temperatur, kerapatan campuran, komposisi, dan turbulensi yang ada pada campuran bahan bakar. Apabila temperatur campuran bahan bakar dengan udara naik, maka semakin mudah campuran bahan bakar dengan udara tersebut untuk terbakar. Dengan temperatur yang cukup campuran bahan bakar dengan udara akan lebih homogen.

Dengan melakukan pemanasan terhadap campuran bahan bakar solar dan minyak biji nyamplung sampai temperatur tertentu sebelum masuk ke dalam pompa tekanan tinggi menyebabkan penurunan densitas dan viskositas bahan bakar, sehingga bila diinjeksikan

ke dalam ruang bakar akan membentuk butiran kabut bahan bakar yang lebih halus yang akan menyebabkan proses pencampuran bahan bakar dan udara menjadi lebih homogen. Apabila bahan bakar dan udara tercampur secara homogen maka pembakaran lebih sempurna sehingga menghasilkan gas buang dengan kandungan karbonmonoksida (CO), dan hidrokarbon (HC) yang lebih sedikit.

2.10 Hipotesis

Dengan penggunaan biodiesel dapat menurunkan emisi yang dihasilkan oleh mesin diesel, akan tetapi biodiesel memiliki kelemahan yaitu memiliki viskositas yang tinggi . Dengan memberikan *treatment* berupa pemanasan terhadap campuran bahan bakar biodiesel dan solar dapat menurunkan viskositas campuran bahan bakar tersebut sehingga viskositasnya mendekati nilai viskositas solar biasa. Ketika viskositas bahan bakar menurun akan meningkatkan kualitas pembakaran pada mesin diesel sehingga akan menurunkan nilai emisi yang dihasilkan.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*), dimana dilakukan rekayasa, pengendalian dan pengamatan di dalam penelitian. Sehingga didapatkan hasil pengaruh temperatur *preheating* dan pencampuran minyak biji *Calophyllum inophyllum* dengan solar terhadap emisi pada motor diesel.

3.2 Variabel Penelitian

Jenis-jenis variabel yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Variabel bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel dependen (variabel terikat). Variabel bebas pada penelitian ini antara lain:

- a. Variasi temperatur *preheating*: 40°C, 50°C, dan 60°C
- b. Campuran biodiesel *Calophyllum inophyllum* dan solar sebanyak:
B0 (100% solar, 0% biodiesel), B10 (90% solar, 10% biodiesel), B20 (80% solar, 20% biodiesel) dan B30 (70% solar, 30% biodiesel)
- c. Putaran motor diesel: 1600, 1800, 2000, 2200 dan 2400 rpm

2. Variabel terikat (*Dependent Variable*)

Variabel Terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Adapun variabel terikat yang digunakan sebagai berikut.

- a. Kadar CO
- b. Kadar CO₂
- c. Kadar HC
- d. Kadar Opasitas

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga hubungan variabel independen terhadap dependen tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Adapun variabel terkontrol yang digunakan sebagai berikut.

- a. *Timing Injection* dalam keadaan standar.
- b. Selang bahan bakar dikondisikan vakum (tidak ada udara masuk).
- c. Rasio kompresi mesin 20:1

3.3 Waktu Pelaksanaan

Waktu : Bulan Maret – Mei.

Tempat : Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

3.4 Instalasi Penelitian Motor Diesel

Kelengkapan alat penelitian yang tersedia adalah instalasi penelitian (*research rig*) lengkap, yang terdiri dari:

1. Unit Motor Diesel sebagai obyek penelitian.
2. Alat ukur berbagai variabel yang diperlukan.
3. Kelengkapan alat penelitian seperti selang *exhaust*, tabung semprot dan tabung isi bahan bakar.
4. *Engine Test Bench*

Engine test bench merupakan sebuah fasilitas untuk mengembangkan, mengkarakteristikan, dan menguji suatu mesin.

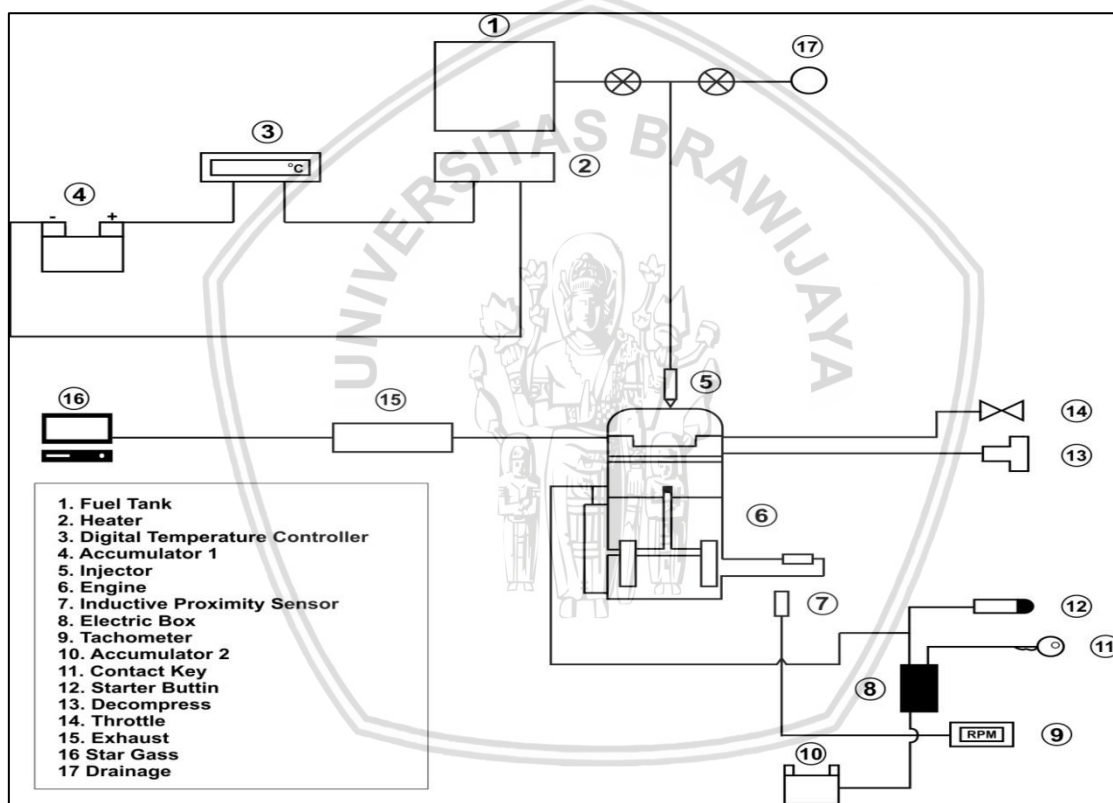


Gambar 3.1 Engine test bench Yanmar L70N – METM

Spesifikasi motor diesel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Siklus : 4 Langkah
- b. Starting system : *Dynamo starter*
- c. Sistem Pembakaran : *Direct injection system*
- d. Volume Langkah Torak : 296 cc
- e. Jumlah silinder : 1

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| f. Bore x stroke | : 78 mm x 62 mm |
| g. Bahan Bakar | : Solar |
| h. Pendingin | : <i>Forced air cooling</i> |
| i. <i>Lubricating Oil</i> | : SAE 15W – 30 Grade |
| j. <i>Lubricating Oil Capacity</i> | : 1,65 liter |
| k. Daya Poros | : 4,9 kW / 3600 rpm |
| l. Merek | : Yanmar, Italy S.p.A. |
| m. Model | : L70N-METMYI |
| n. Negara Pembuat | : Italy |



Gambar 3.2 Skema instalasi motor diesel Yanmar

Pada penelitian ini, kami menggunakan mesin diesel Yanmar L70N-METMYI buatan Italia dengan siklus 4 langkah dengan satu silinder berkapasitas 296 cc. Dalam penelitian ini kami membuat *bench test* untuk mesin diesel yang kami gunakan agar dapat mengurangi getaran yang dihasilkan oleh mesin pada saat melakukan pengujian ini. Selain itu yang harus dipersiapkan dalam pengujian ini adalah variasi temperatur *preheating*. Kami menggunakan *digital temperature controller* untuk menjaga temperatur yang diinginkan dan menggunakan tangki bahan bakar yang terbuat dari aluminium yang dililitkan dengan *isolated wire* 0,4 mm yang dihubungkan ke *accumulator* berfungsi untuk memanaskan bahan bakar sebelum masuk

ke ruang bakar. *Digital temperature controller* ini memiliki relay yang berfungsi sebagai saklar otomatis sehingga apabila bahan bakar sudah dipanaskan sampai pada temperatur yang diinginkan, relay tersebut akan memutus arus listrik sehingga suhu dapat terjaga. Alat pendukung lain yang digunakan pada pengujian ini yaitu *proximity sensor* dan *digital tachometer* yang berfungsi untuk menghitung putaran pada poros mesin diesel, kemudian terdapat *starter button* untuk menghidupkan mesin, *Electric Box* yang berisi rangkaian *relay* yang berfungsi sebagai saklar otomatis dan berfungsi juga sebagai pelindung rangkaian listrik, dan *throttle* yang berfungsi untuk mengatur putaran yang diinginkan.

Langkah yang harus dilakukan sebelum melakukan proses pengambilan data adalah melakukan *dryrun* terlebih dahulu. *Dryrun* dilakukan agar pada saat proses pengambilan data tidak terjadi kesalahan teknis yang akan menghambat proses pengambilan data. Setelah itu kita memasukkan bahan bakar kedalam tangki bahan bakar solar tanpa mengalami *treatment* pemanasan. Setelah itu mesin dinyalakan dengan menggunakan *contact key* kemudian menekan *starter button* sambil menekan *decompress* hingga motor diesel menyala kemudian didiamkan hingga kondisinya stabil. Apabila kondisi mesin sudah stabil lalu matikan mesin dengan cara memutar *contact key* pada posisi *off* kemudian bahan bakar yang masih tersisa dikuras sampai habis. Setelah itu campuran bahan bakar diesel dan minyak nyamplung dimasukkan ke dalam tangki bahan pada posisi katup tertutup. Kemudian dilakukan proses pemanasan sampai dengan temperatur yang diinginkan kemudian katup dibuka sehingga bahan bakar dapat mengalir menuju injektor. Setelah itu mesin dinyalakan dengan menggunakan *contact key* kemudian menekan *starter button* sambil menekan *decompress* hingga motor diesel menyala kemudian didiamkan hingga kondisinya stabil. Apabila kondisi mesin sudah stabil kemudian *exhaust* pada mesin disambungkan ke alat pendeteksi emisi dengan menggunakan Stargass 898 dan *Smoke Analyzer*. Stargass 898 akan otomatis mendeteksi gas hasil pembakaran berupa CO, CO₂ dan HC, kemudian ketika angka emisi yang tertera pada Stargass 898 sudah stabil tekan tombol *save*. Sedangkan untuk mengukur nilai emisi opasitas yang dihasilkan menggunakan *Smoke Analyzer*.

3.5 Alat Ukur dan Fungsi

Perlengkapan alat pengujian berupa alat ukur serta fungsinya yang digunakan saat penelitian adalah:

1. *Star Gas Analyzer*

Star Gas Analyzer yang digunakan yaitu Stargas 898 dengan merk Tecknotest buatan Italia. Alat ini digunakan untuk menganalisa kandungan emisi mesin diesel (CO, CO₂ dan HC). Untuk jangkauan pengukuran alat tersebut bisa dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1

Jangkauan Pengukuran *Star Gass Analyzer*

CO	0 ÷ 15,000 % Vol (res. 0,001)
CO ₂	0 ÷ 20,00 % Vol (res. 0,01)
HC	0 ÷ 30000 ppm Vol (res. 1)
O ₂	0 ÷ 25,00 % Vol (res. 0,01)
NO _x	0 ÷ 5000 % Vol (res. 1 - <i>optional</i>)
Lambda	0,5 ÷ 2,000 (res. 0,001)



Gambar 3.3 *Star gass analyzer*

2. *Smoke Analyzer*

Digunakan untuk mengukur nilai emisi opasitas yang dihasilkan pada mesin diesel.



Gambar 3.4 *Smoke analyzer*

3. *Digital Temperature Controller*

Digunakan untuk mengontrol temperatur sesuai dengan settingan yang diinginkan.

Tabel 3.2

Spesifikasi *Digital Temperature Controller*

<i>Working Voltage</i>	90~250V
<i>Rated Current</i>	10A
<i>Power Consumption</i>	3W
<i>Measurement range</i>	-50~110 Celsius degree
<i>Measurement precision</i>	0.1 Celsius degree
<i>Measurement error</i>	0.3 Celsius degree
<i>Control precision</i>	0.1 Celsius degree
<i>Item size</i>	5cm / 4in



Gambar 3.5 *Digital temperature controller*

4. *Tachometer*

Digunakan untuk menghitung putaran poros (rpm).

Tabel 3.3

Spesifikasi *Tachometer*

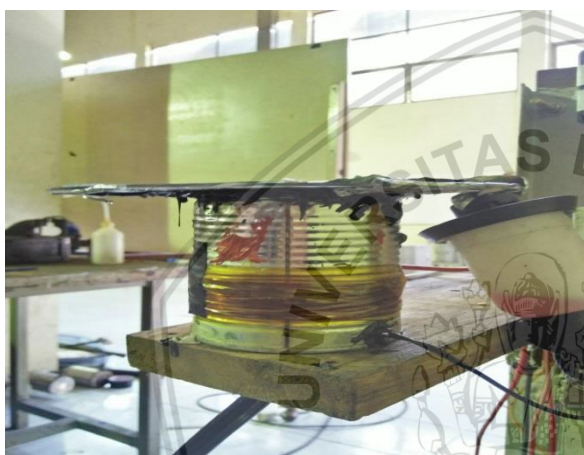
<i>Power Requirement</i>	DC 8-15V / AC 6-18V
<i>Measure Range</i>	8 RPM
<i>Error Range</i>	0.1 % rpm
<i>Clear Zero</i>	Automatic
<i>Clear Zero Time</i>	About 10s
<i>Refresh Frequency</i>	0,2s (120-1200)RPM, 0.25(2400-9999) RPM
<i>Response Frequency</i>	100Hz



Gambar 3.6 Tachometer

5. Tangki *Preheating*

Digunakan untuk memanaskan bahan bakar.



Gambar 3.7 Tangki *preheating*

3.6 Prosedur Pengambilan Data

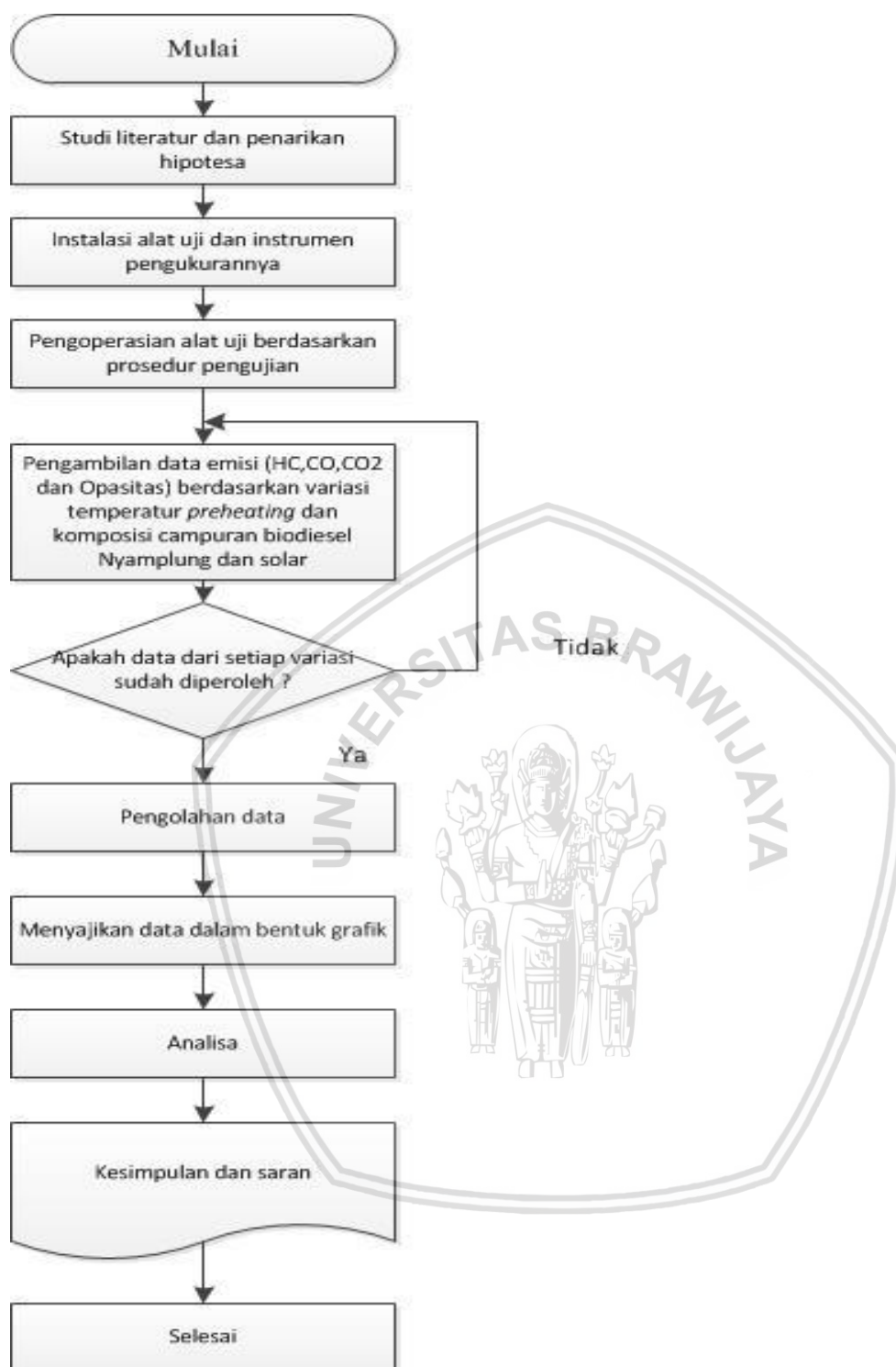
Sebelum pengambilan data dimulai, dilakukan langkah – langkah persiapan hingga mesin beroperasi dan siap untuk pengambilan data. Adapun langkah – langkah yang dilakukan sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan penelitian yang akan digunakan
2. Memasukkan bahan bakar ke dalam tangki bahan bakar
3. Membuka katup saluran bahan bakar sehingga bahan bakar dapat mengalir ke *injector*
4. Menyalakan kunci kontak pada posisi ON
5. Menyalakan mesin diesel dengan cara menarik tuas *decompressed* diikuti dengan menekan tombol *starter* +- 2 detik, kemudian melepas tuas *decompressed* dan tombol *starter* secara bersamaan (langkah ini dilakukan hingga mesin menyala)
6. Setelah mesin menyala, mesin dibiarkan beroperasi beberapa saat untuk membuat kondisi *steady* pada mesin

7. Apabila mesin sudah beroperasi dengan keadaan *steady* kemudian mesin dimatikan dengan cara memutar kunci kontak pada posisi *OFF* kemudian bahan bakar yang tersisa dikuras sampai habis
8. Memasukkan campuran bahan bakar solar dan biodiesel Nyamplung ke dalam tangki bahan bakar kemudian katup saluran menuju *injector* ditutup kemudian menyetting temperatur *preheating* sesuai dengan variasi yang telah ditentukan
9. Setelah bahan bakar dipanaskan sesuai dengan temperatur yang diinginkan kemudian katup pada bagian akhir saluran dibuka kemudian bahan bakar akan mengalir ke *injector*
10. Menyalakan kunci kontak pada posisi *ON*
11. Menyalakan mesin diesel dengan cara menarik tuas *decompressed* diikuti dengan menekan tombol *starter* +- 2 detik, kemudian melepas tuas *decompressed* dan tombol *starter* secara bersamaan (langkah ini dilakukan hingga mesin menyala)
12. Mengatur bukaan *throttle* pada putaran mesin yang ditentukan yaitu 1600, 1800, 2000, 2200 dan 2400 rpm
13. Menyambungkan *exhaust* dengan *Star Gas Analyzer* dan *Smoke Analyzer*
14. Proses pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali pada variasi temperatur *preheating* yang sama
15. Mengeluarkan seluruh bahan bakar sisa dari selang ataupun mesin, dan memasukkan bahan bakar dengan variasi kandungan minyak biji nyamplung yang lain ke tangki
16. Mengulangi langkah 1 – 15 dengan variasi temperatur *preheating* yang berbeda hingga seluruh data didapatkan
17. Setelah pengambilan data selesai, tuas *decompressed* ditarik diikuti dengan mengatur bukaan *throttle* pada posisi tertutup, dan kunci kontak dipastikan dalam posisi *off*

3.7 Diagram Alir Penelitian

Flowchart adalah adalah suatu bagan dengan simbol-simbol tertentu yang menggambarkan urutan proses secara mendetail dan hubungan antara suatu proses (instruksi) dengan proses lainnya dalam suatu penelitian. *Flowchart* dalam penelitian ini dapat dilihat dari gambar *flowchart* dibawah ini, yaitu:



Gambar 3.8 Diagram alir penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis

4.1.1 Data Karakteristik Bahan Bakar

Penelitian dimulai dengan mengambil data sifat-sifat dari biodiesel *Calophyllum inophyllum* dan solar yang dapat berpengaruh serta menjelaskan emisi yang didapatkan dalam penelitian. Untuk pengambilan data, pengujian dilakukan dengan variasi bahan bakar dan temperatur *preheating* pada putaran 1600 – 2400 rpm dengan interval 200 rpm. Tabel 4.1 merupakan properties biodiesel *Calophyllum inophyllum* yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 4.1

Tabel *Properties* Bahan Bakar Aktual

Karakteristik	B100	B30	B20	B10	Satuan
Densitas	0,885	0,843	0,837	0,83	gr/ml
Viskositas Kinematik					
Suhu Ruangan	13,662	12,22	6,45	6,263	cSt (mm ² /s)
40°C	6,27	4,03	3,61	3,46	cSt (mm ² /s)
50°C	5,06	3,89	3,25	3,24	cSt (mm ² /s)
60°C	4,17	3,36	3,13	2,65	cSt (mm ² /s)
Flash Point	142,2	86	77,8	75,1	°C
Nilai Kalor	9499,319	10193,86	10398,41	10400,08	cal/gram

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya (2018)

4.1.2 Pengolahan Data

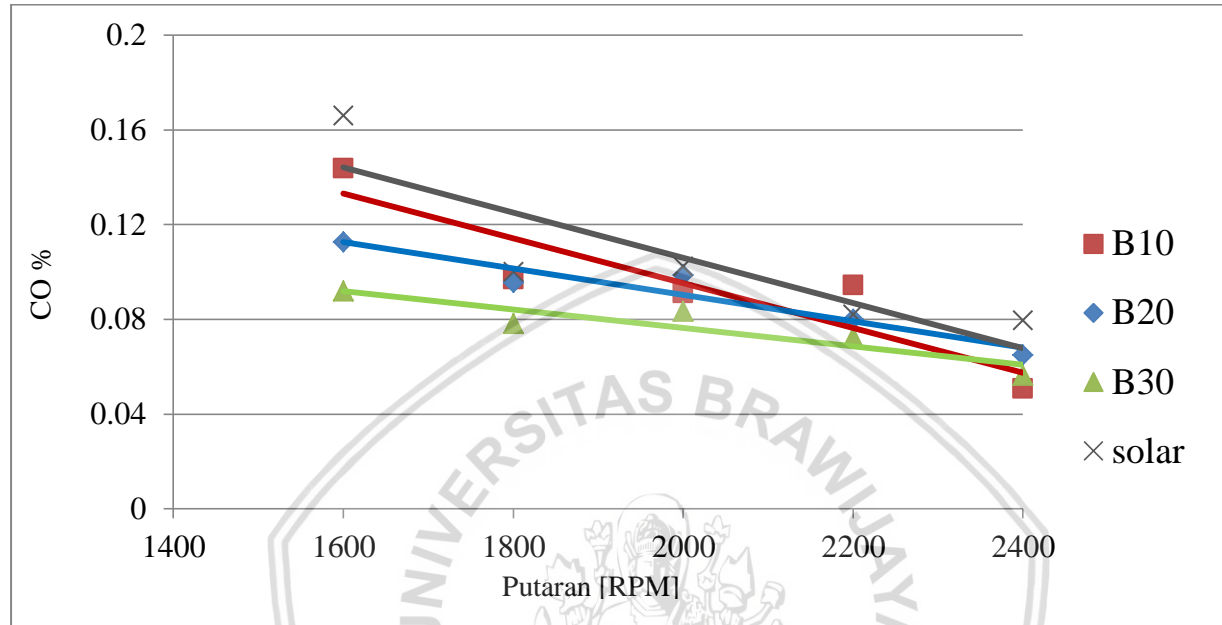
Setelah mengambil data properties bahan bakar aktual, selanjutnya mengambil data emisi dengan menggunakan *Stargass Analyzer* dan *Smoke Analyzer* pada masing-masing variasi temperatur *preheating* yaitu 40°C, 50°C, dan 60°C serta dengan bahan bakar B0 (Solar Murni), B10 (campuran biodiesel 10%), B20 (campuran biodiesel 20%) dan B30 (campuran biodiesel 30%). Data hasil pengolahan data dapat dilihat pada lampiran 1 sampai 9.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Grafik Emisi CO Terhadap Putaran Mesin Pada Setiap Variasi Temperatur

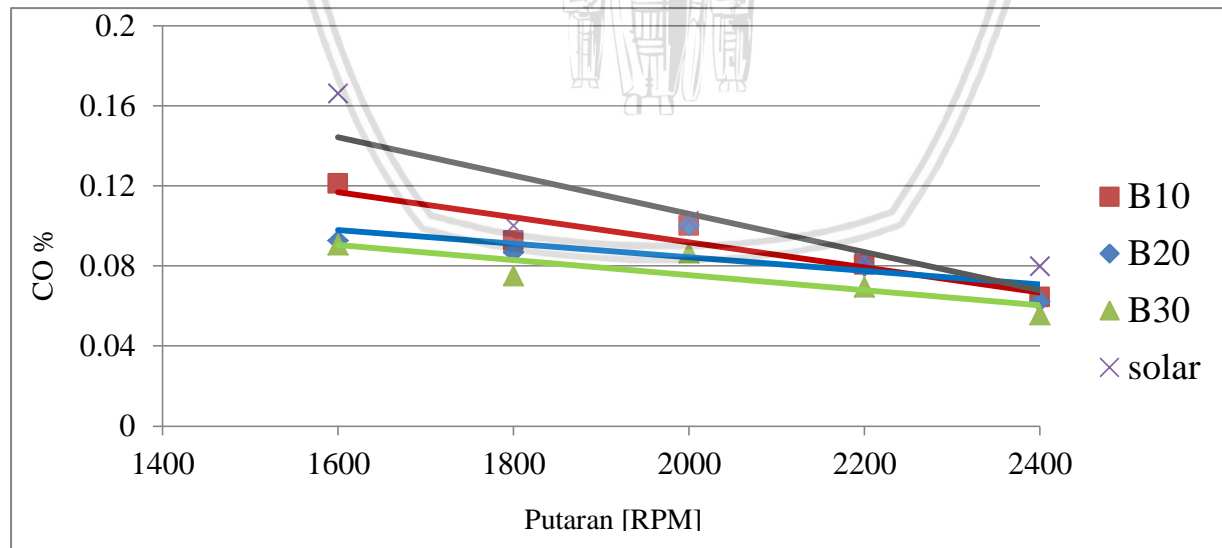
Preheating

A.



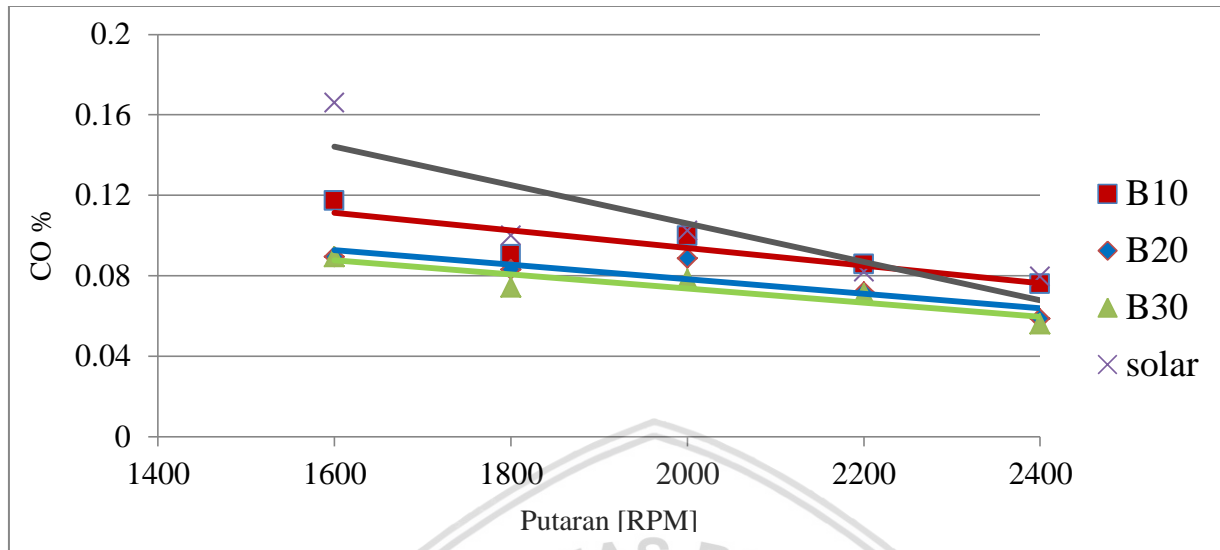
Gambar 4.1 Kandungan emisi CO pada temperatur *preheating* 40°C

B.



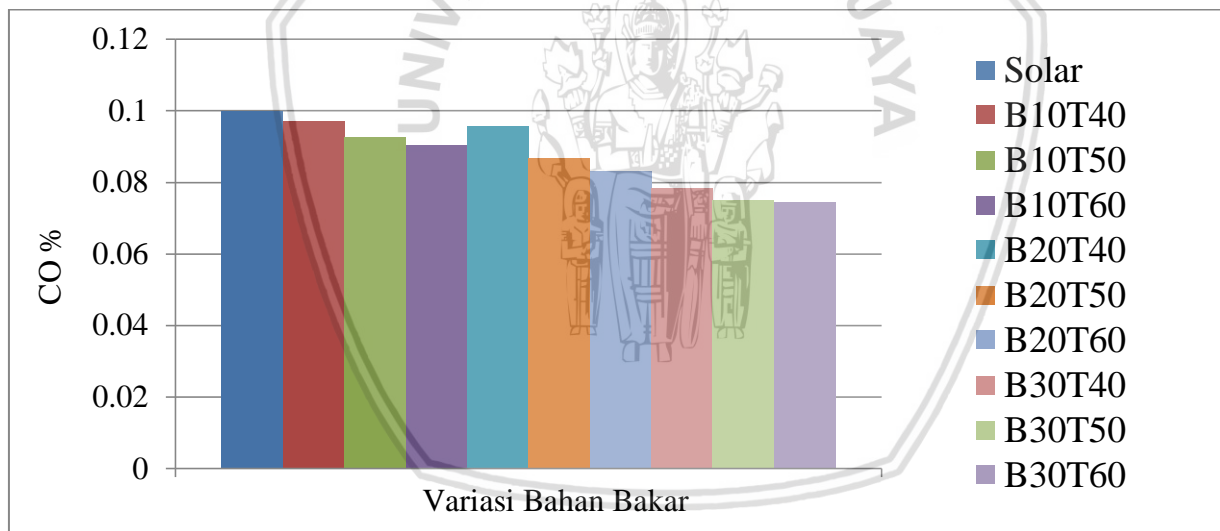
Gambar 4.2 Kandungan emisi CO pada temperatur *preheating* 50°C

C.



Gambar 4.3 Kandungan emisi CO pada temperatur *preheating* 60°C

D.



Gambar 4.4 Perbandingan kandungan emisi CO rata-rata pada setiap variasi bahan bakar dan temperatur *preheating* bahan bakar pada putaran mesin 1800 RPM

Gambar 4.1 sampai 4.3 merupakan grafik kandungan emisi CO terhadap putaran mesin pada variasi temperatur *preheating* bahan bakar yaitu 40°C, 50°C dan 60°C. Karbon monoksida adalah gas yang tak berwarna, tak berbau, dan tak berasa. Karbon monoksida (CO) terbentuk karena kurangnya oksigen di dalam reaksi dengan bahan bakar pada saat proses pembakaran. Dari grafik dapat dilihat bahwa dengan penambahan persentase biodiesel maka nilai emisi CO yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan dengan solar. Dari grafik juga dapat dilihat jika nilai CO akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya temperatur *preheating* bahan bakar.

Data emisi CO yang dihasilkan cenderung mengalami penurunan jika dihubungkan dengan putaran mesin. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran mesin maka temperatur pada ruang bakar semakin meningkat sehingga bahan bakar mudah menguap kemudian akan terjadi campuran homogen antara bahan bakar dan udara. Hal ini membuat pembakaran bisa berlangsung lebih sempurna dan kadar emisi CO menjadi turun (Sunaryo, 2013).

Melihat dari grafik yang disajikan di atas, semakin tingginya kandungan biodiesel pada temperatur *preheating* bahan bakar yang sama, kandungan emisi CO yang dihasilkan pada motor diesel akan lebih rendah jika dibandingkan dengan solar. Hal ini dapat terjadi karena pada biodiesel memiliki sifat *oxygenats fuels* yaitu memiliki kandungan oksigen sekitar 10-11% . Pembentukan emisi CO disebabkan oleh bahan bakar yang tidak dapat terbakar secara sempurna akibat kurangnya oksigen. Dengan adanya penambahan biodiesel maka kandungan oksigen yang terkandung dalam bahan bakar menjadi lebih banyak sehingga proses pembakaran bahan bakar menjadi lebih sempurna dan nilai kandungan CO yang dihasilkan lebih rendah (Rahman et al. , 2013).

Hasil selanjutnya adalah semakin tinggi temperatur *preheating* bahan bakar maka nilai CO yang dihasilkan lebih rendah. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur *preheating* maka viskositas biodiesel yang tinggi akan menurun. Hal ini disebabkan karena pada saat bahan bakar dipanaskan, maka akan terjadi pergeseran jarak molekul dalam minyak menjadi lebih besar sehingga volume minyak tersebut menjadi lebih besar dan nilai viskositasnya akan berubah (Rabelo et al. , 2000). Sehingga dengan penurunan nilai viskositas maka bahan bakar tersebut akan teratomisasi dengan lebih baik sehingga menghasilkan butiran yang lebih kecil. Apabila butiran yang dihasilkan lebih kecil dan halus akan menyebabkan proses pencampuran

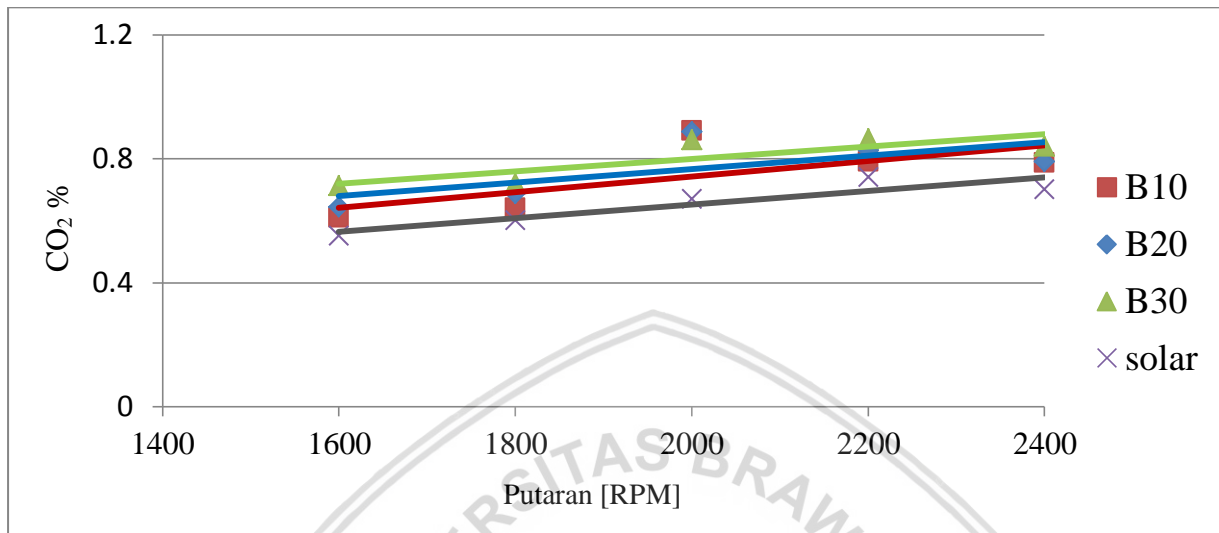
bahan bakar dan udara menjadi lebih homogen. Apabila bahan bakar dan udara tercampur secara homogen maka pembakaran akan lebih sempurna sehingga akan menghasilkan gas buang dengan kandungan Karbon monoksida (CO) yang lebih sedikit (Suyanto, 1989).

Dari Gambar 4.4 dilihat bahwa bahan bakar solar memiliki emisi karbon monoksida (CO) tertinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar lain. Bahan bakar dengan kandungan emisi CO terendah yaitu bahan bakar dengan kandungan biodiesel 30% dan solar 70 % (B30) dengan temperatur *preheating* sebesar 60°C.



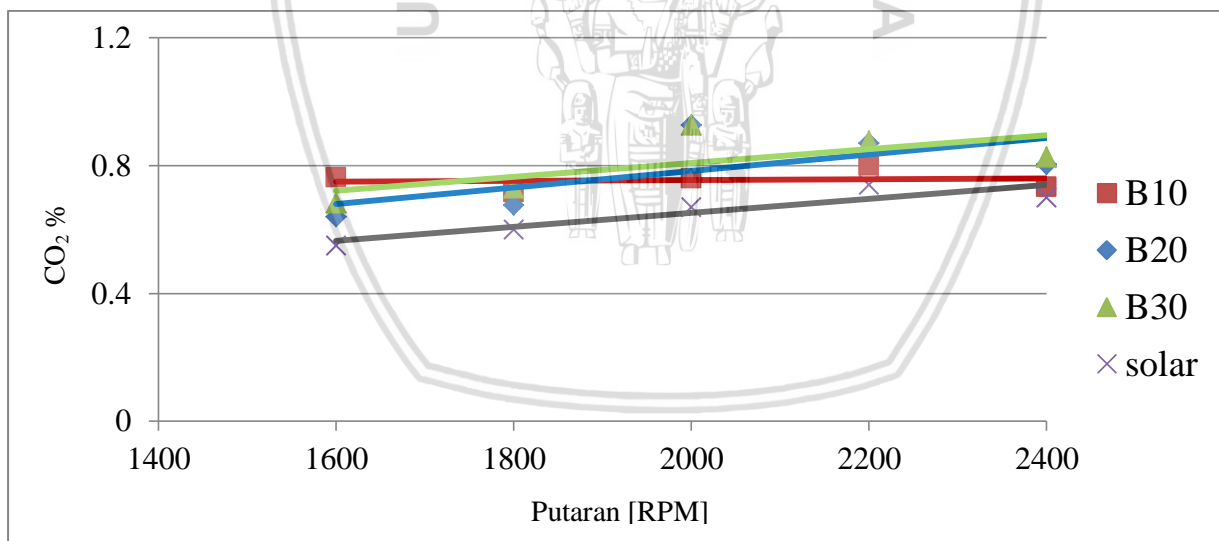
4.2.2 Grafik Emisi CO₂ terhadap Putaran Mesin Pada Setiap Variasi Temperatur *Preheating*

A.



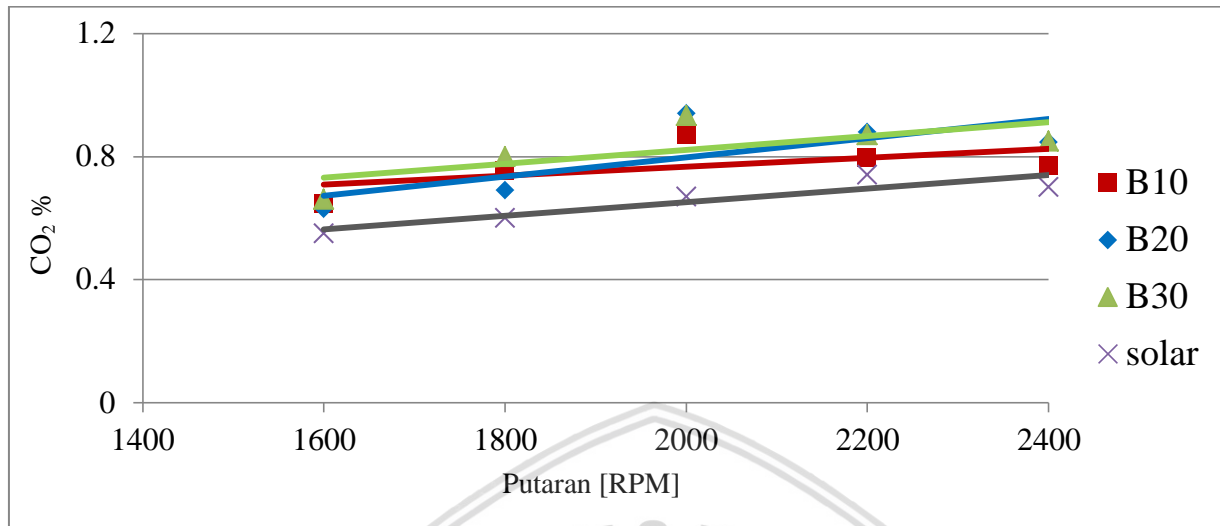
Gambar 4.5 Kandungan emisi CO₂ pada temperatur *preheating* 40°C

B.



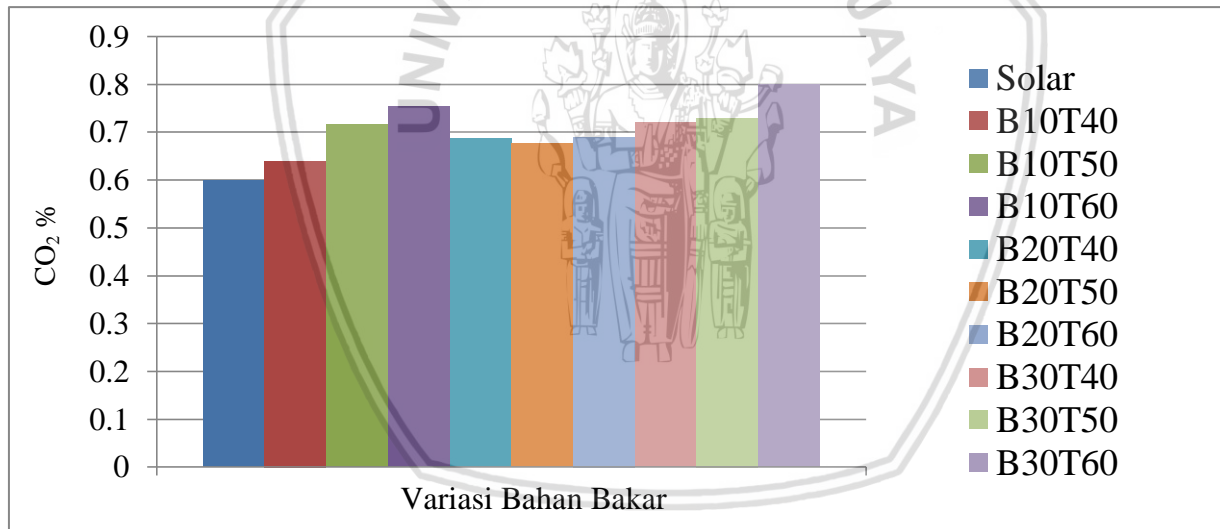
Gambar 4.6 Kandungan emisi CO₂ pada temperatur *preheating* 50°C

C.



Gambar 4.7 Kandungan emisi CO₂ pada temperatur *preheating* 60°C

D.



Gambar 4.8 Perbandingan kandungan emisi CO₂ rata-rata pada setiap variasi bahan bakar dan temperatur *preheating* bahan bakar pada putaran mesin 1800 RPM

Gambar 4.5 sampai 4.7 merupakan grafik kandungan emisi CO₂ terhadap putaran mesin pada variasi temperatur *preheating* bahan bakar yaitu 40°C, 50°C dan 60°C. Karbon dioksida atau zat asam arang adalah sejenis senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon. Karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu produk dari pembakaran yang dihasilkan ketika karbon dari bahan bakar dioksidasi secara sempurna. Dari grafik dapat dilihat bahwa dengan penambahan persentase biodiesel maka nilai CO₂ nya lebih tinggi jika dibandingkan dengan solar. Dari grafik juga dapat dilihat jika nilai CO₂ akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya temperatur *preheating* bahan bakar.

Data emisi CO₂ yang dihasilkan cenderung mengalami kenaikan jika dihubungkan dengan putaran mesin juga dapat dijelaskan, bahwa pada putaran rendah yaitu 1600 rpm, temperatur pembakaran masih relatif lebih rendah. Semakin naiknya putaran maka temperatur didalam silinder semakin tinggi. Hal ini membuat pembakaran bisa berlangsung lebih sempurna dan kadar emisi CO₂ mengalami kenaikan (Arbab et al., 2013).

Melihat dari grafik yang disajikan di atas, semakin tingginya kandungan biodiesel pada temperatur *preheating* yang sama, kandungan emisi CO₂ yang dihasilkan lebih tinggi jika dibandingkan dengan solar. Hal ini dapat terjadi karena dengan penambahan biodiesel maka nilai cetana bahan bakar akan mengalami kenaikan. Ketika nilai cetana tinggi maka *ignition delay* nya pendek sehingga tidak terjadi penumpukan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan kedalam silinder. *Ignition delay* pendek menyebabkan mesin diesel akan bekerja halus (tidak terjadi detonasi) dan efisiensi unjuk kerja tinggi dan pembakaran yang dihasilkan lebih sempurna sehingga nilai emisi CO₂ yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan penambahan persentase biodiesel (Sukoco dan Arifin, 2008).

Hasil selanjutnya adalah semakin tinggi temperatur *preheating* maka nilai CO₂ yang dihasilkan lebih tinggi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur *preheating* maka viskositas biodiesel yang tinggi akan menurun sehingga bahan bakar tersebut akan teratomisasi dengan lebih baik sehingga menghasilkan ukuran droplet yang lebih kecil. Apabila ukuran droplet yang dihasilkan lebih kecil akan menyebabkan proses penguapan menjadi lebih mudah sehingga pencampuran bahan bakar dan udara menjadi lebih homogen. Apabila bahan bakar dan udara tercampur secara homogen maka pembakaran akan lebih sempurna sehingga akan menghasilkan gas buang dengan kandungan karbon dioksida (CO₂)

yang lebih tinggi. Sehingga dengan semakin naiknya temperatur *preheating* maka emisi karbon dioksida (CO_2) yang dihasilkan akan semakin meningkat.

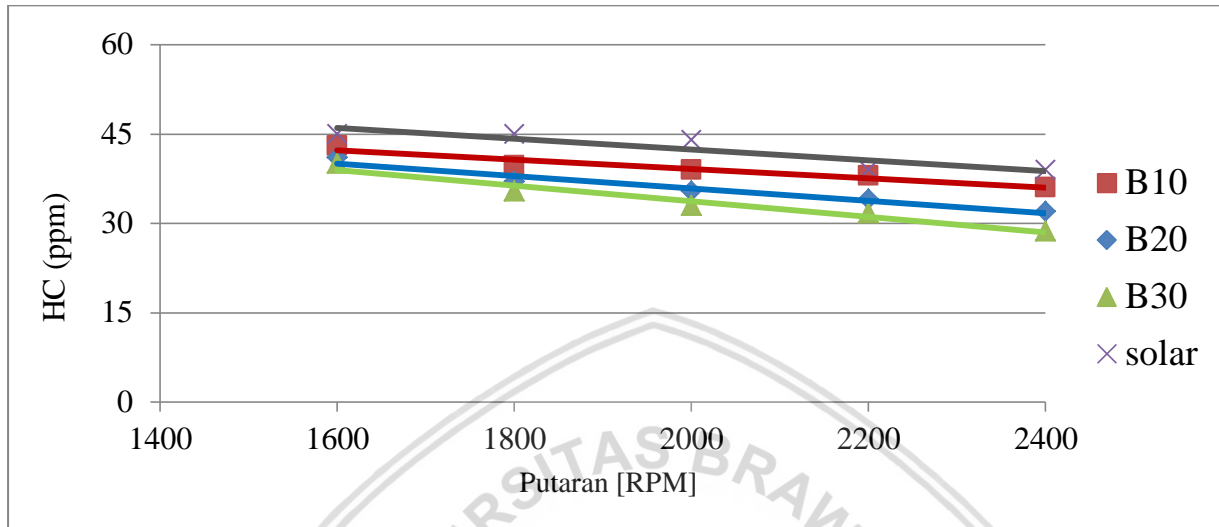
Dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa bahan bakar solar memiliki emisi karbon dioksida (CO_2) terendah jika dibandingkan dengan bahan bakar lain. Bahan bakar dengan kandungan emisi CO_2 tertinggi yaitu bahan bakar dengan kandungan biodiesel 30% dan solar 70 % (B30) dengan temperatur *preheating* sebesar 60°C .



4.2.3 Grafik Emisi HC terhadap Putaran Mesin Pada Setiap Variasi Temperatur

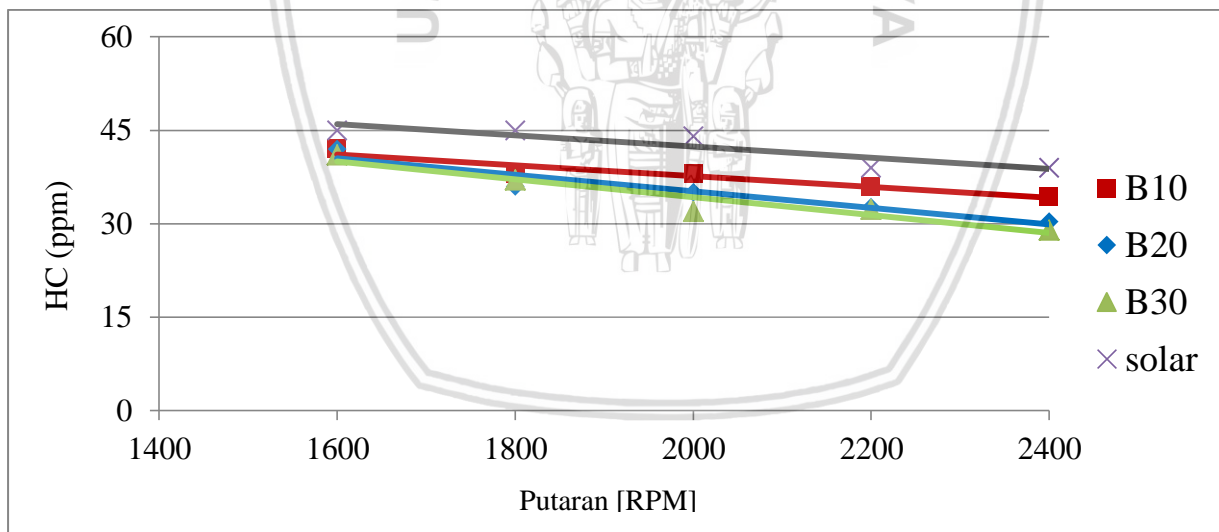
Preheating

A.



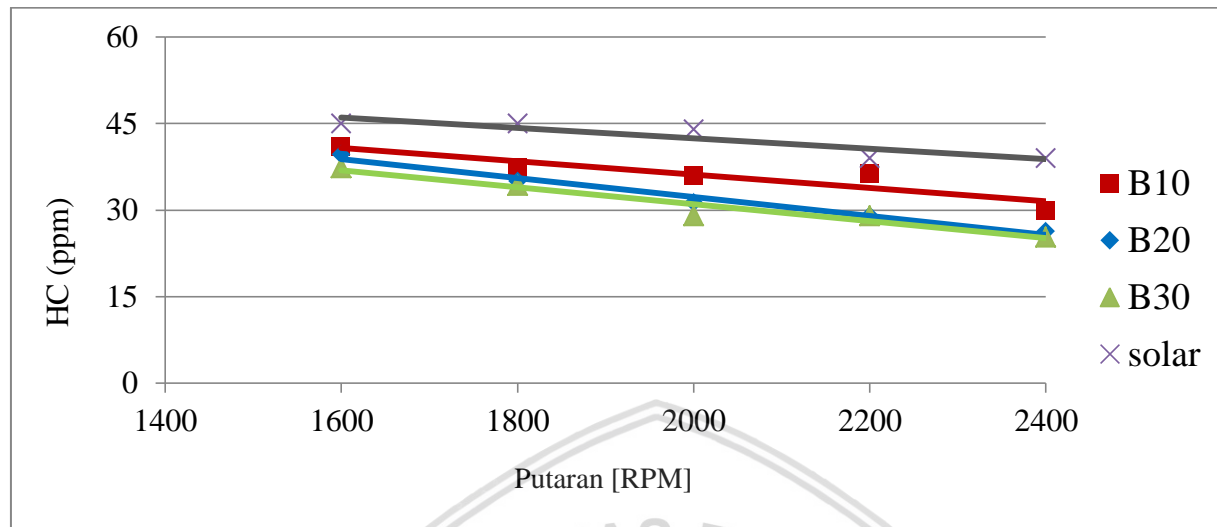
Gambar 4.9 Kandungan emisi HC pada temperatur *preheating* 40°C

B.



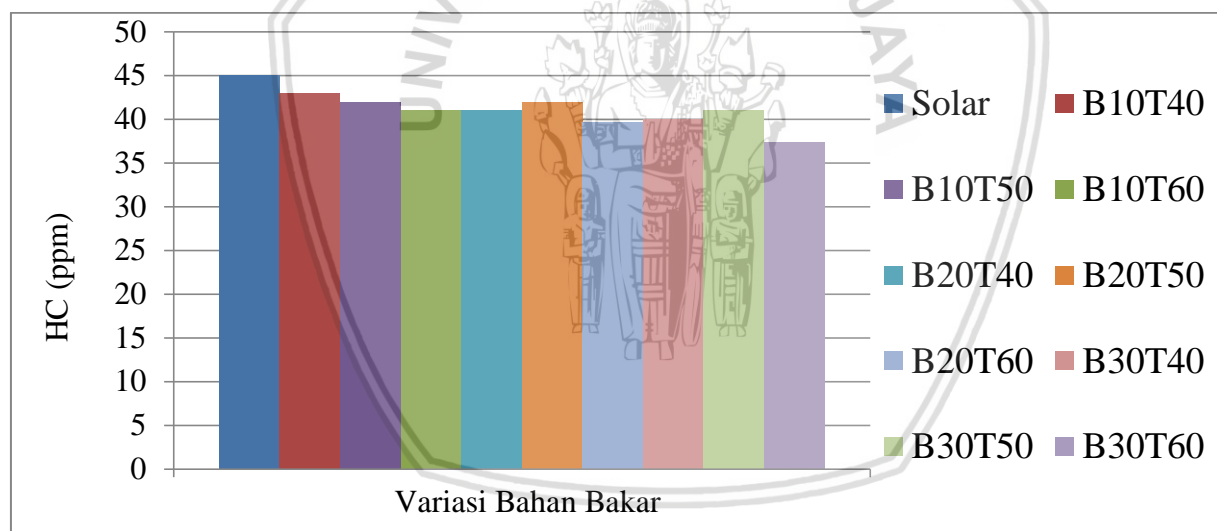
Gambar 4.10 Kandungan emisi HC pada temperatur *preheating* 50°C

C.



Gambar 4.11 Kandungan emisi HC pada temperatur *preheating* 60°C

D.



Gambar 4.12 Perbandingan kandungan emisi HC rata-rata pada setiap variasi bahan bakar dan temperatur *preheating* bahan bakar pada putaran mesin 1800 RPM

Gambar 4.9 sampai 4.11 merupakan grafik kandungan emisi HC terhadap putaran mesin pada variasi temperatur *preheating* bahan bakar yaitu 40°C, 50°C dan 60°C. Pembentukan HC terjadi dikarenakan adanya molekul hidrogen dan karbon dalam bahan bakar yang tidak terbakar sempurna (*unburned*) selama pembakaran berlangsung. Dari grafik dapat dilihat bahwa dengan penambahan persentase biodiesel maka nilai HC nya lebih rendah jika dibandingkan dengan solar. Dari grafik juga dapat dilihat jika nilai HC akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya temperatur *preheating*.

Data emisi HC yang dihasilkan cenderung mengalami penurunan jika dihubungkan dengan putaran. Pada putaran rendah temperatur pembakaran yang terjadi masih relatif lebih rendah. Semakin naiknya putaran maka temperatur didalam silinder semakin tinggi. Hal ini membuat pembakaran bisa berlangsung lebih sempurna dan kadar emisi HC mengalami penurunan (Pi-qiing, 2013).

Melihat dari grafik yang disajikan di atas, semakin tingginya kandungan biodiesel pada temperatur *preheating* yang sama, kandungan emisi HC yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan dengan solar. Hal ini dapat terjadi karena pada biodiesel memiliki kandungan oksigen yang lebih tinggi (*oxygenates fuels*) jika dibandingkan dengan solar sehingga dengan penambahan persentase biodiesel maka rasio ekivalen udara-bahan bakar (ϕ) akan semakin bertambah. Tingginya rasio ekivalen udara-bahan bakar (ϕ) akan meningkatkan temperatur di silinder sehingga nilai HC yang dihasilkan mengalami penurunan (Havendri, 2008).

Hasil selanjutnya adalah semakin tinggi temperatur *preheating* bahan bakar maka nilai HC yang dihasilkan lebih rendah. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur *preheating* maka viskositas biodiesel yang tinggi akan menurun. Sehingga dengan penurunan nilai viskositas maka bahan bakar tersebut akan teratomisasi dengan lebih baik sehingga menghasilkan butiran yang lebih kecil. Apabila butiran yang dihasilkan lebih kecil dan halus akan menyebabkan proses pencampuran bahan bakar dan udara menjadi lebih homogen. Apabila bahan bakar dan udara tercampur secara homogen maka pembakaran akan lebih sempurna dan kemungkinan bahan bakar tidak terbakar lebih rendah sehingga akan menghasilkan gas buang dengan kandungan HC yang lebih sedikit (Suyanto, 1989).

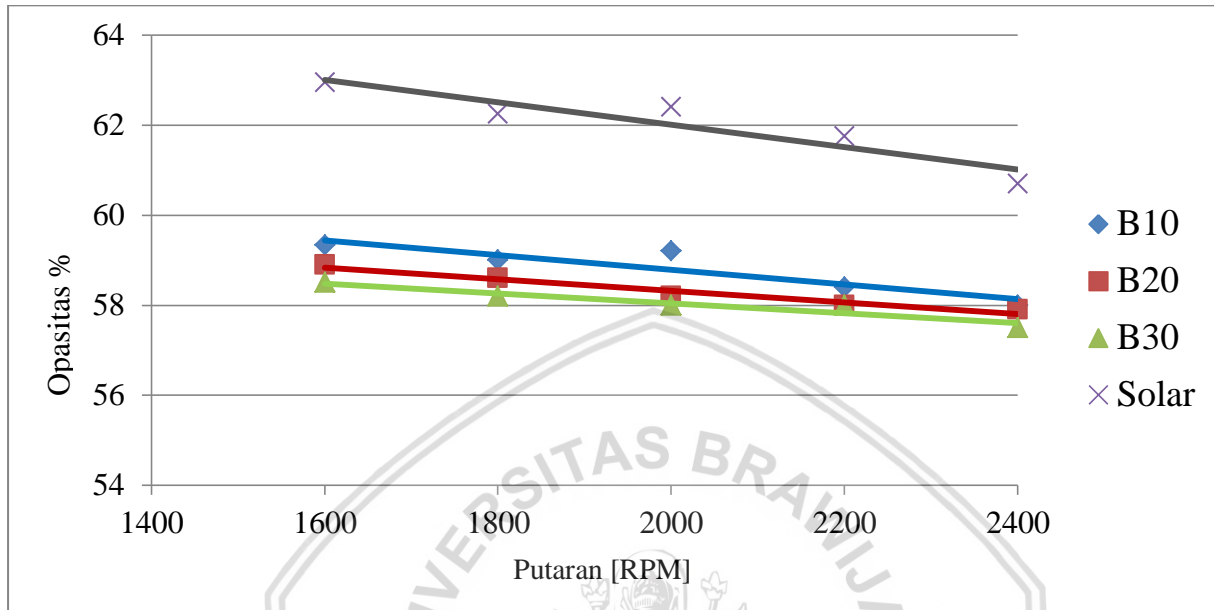
Dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa bahan bakar solar memiliki emisi HC tertinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar lain. Bahan bakar dengan kandungan emisi HC terendah

yaitu bahan bakar dengan kandungan biodiesel 30% dan solar 70 % (B30) dengan temperatur *preheating* sebesar 60°C.



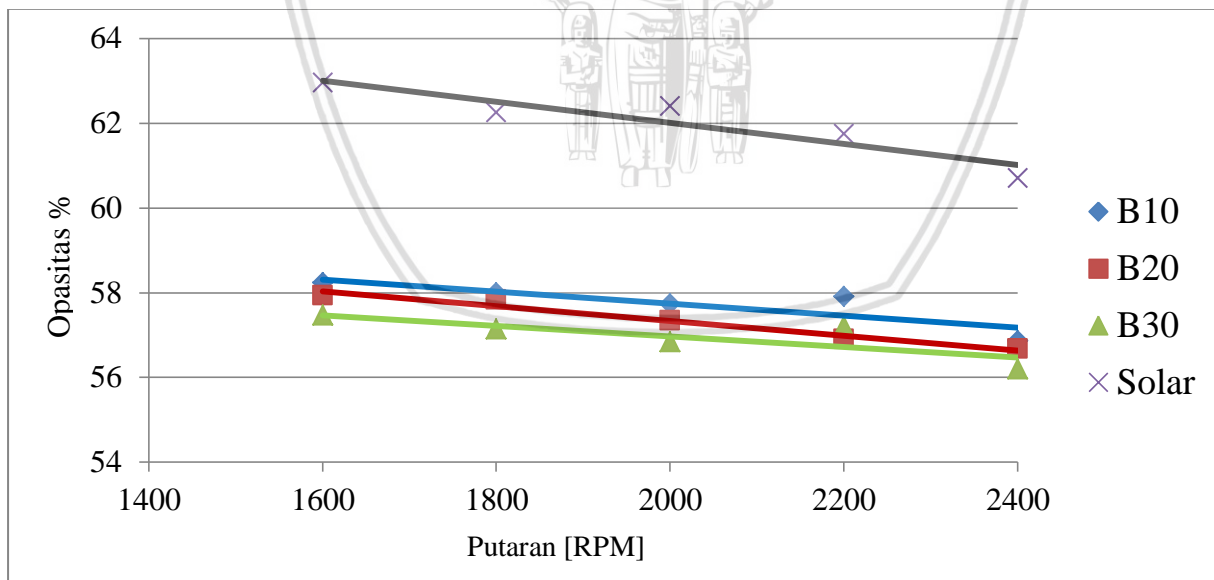
4.2.4 Grafik Emisi Opasitas terhadap Putaran Mesin Pada Setiap Variasi Temperatur *Preheating*

A.



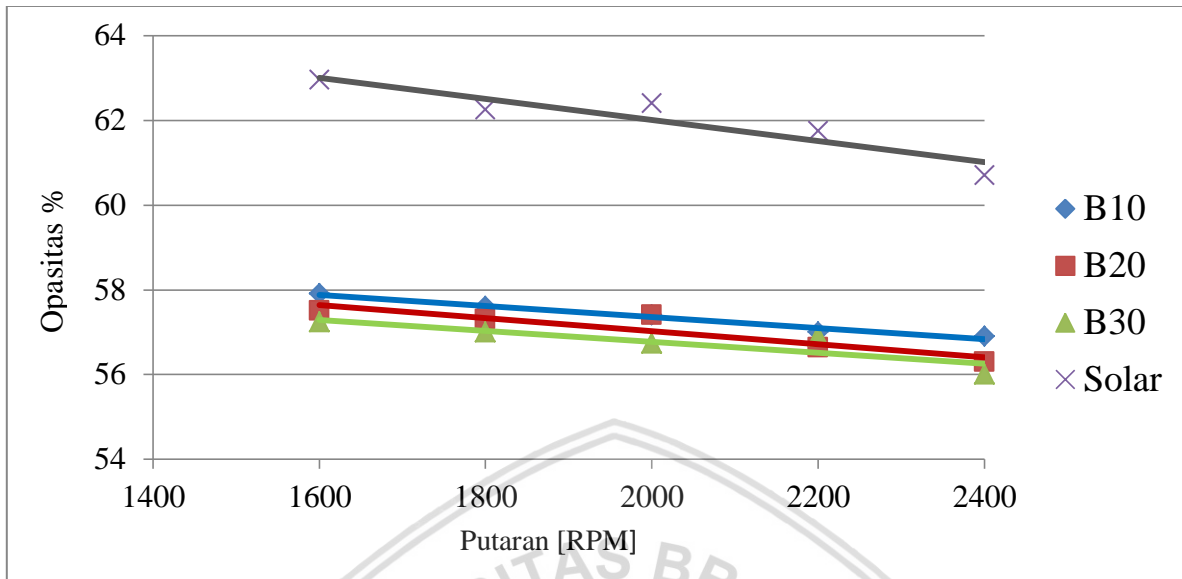
Gambar 4.13 Kandungan emisi opasitas pada temperatur *preheating* 40°C

B.



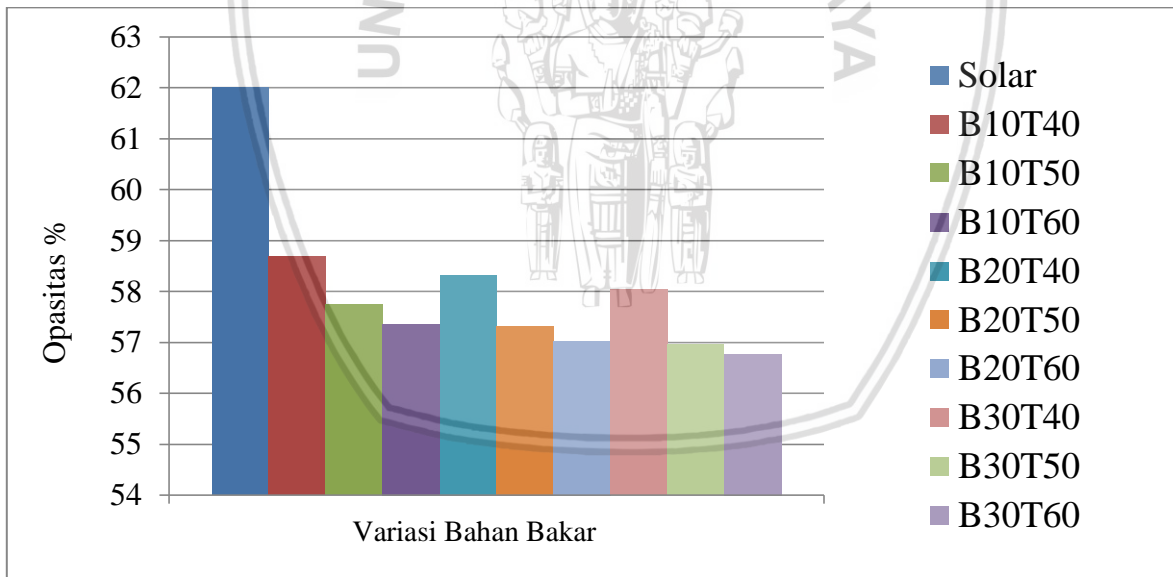
Gambar 4.14 Kandungan emisi opasitas pada temperatur *preheating* 50°C

C.



Gambar 4.15 Kandungan emisi opasitas pada temperatur *preheating* 60°C

D.



Gambar 4.16 Perbandingan kandungan emisi opasitas rata-rata pada setiap variasi bahan bakar dan temperatur *preheating* bahan bakar pada putaran mesin 1800 RPM

Gambar 4.13 sampai 4.15 merupakan grafik kandungan emisi opasitas (*smoke*) terhadap putaran mesin pada variasi temperatur *preheating* bahan bakar yaitu 40°C, 50°C dan 60°C. Opasitas menunjukkan derajat kegelapan dan tembus pandang tidaknya suatu emisi gas buang. Semakin tinggi opasitasnya, artinya semakin tinggi persentase tidak tampaknya suatu benda akibat emisi gas buang ini. Dari grafik dapat dilihat bahwa dengan penambahan persentase biodiesel maka nilai emisi opasitas yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan dengan solar. Dari grafik juga dapat dilihat jika nilai opasitas akan menurun seiring dengan bertambahnya temperatur *preheating* bahan bakar.

Data emisi opasitas yang dihasilkan cenderung mengalami penurunan jika dihubungkan dengan putaran mesin. Pada putaran rendah yaitu 1600 rpm, temperatur pembakaran masih relatif lebih rendah. Semakin naiknya putaran maka temperatur pembakaran semakin tinggi. Hal ini membuat pembakaran bisa berlangsung lebih sempurna dan kadar emisi opasitas mengalami penurunan.

Melihat dari grafik yang disajikan di atas, semakin tingginya kandungan biodiesel pada temperatur *preheating* yang sama, maka opasitas yang dihasilkan akan lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar solar. Tingkat opasitas pada biodiesel dan solar bergantung pada kandungan oksigen dan kandungan sulfur. Biodiesel memiliki sifat *oxygenats fuels* yaitu memiliki kandungan oksigen yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar solar. Bahan bakar yang memiliki kandungan oksigen yang lebih tinggi akan menghasilkan opasitas yang rendah karena terjadinya pembakaran yang lebih sempurna. Biodiesel juga tidak mengandung sulfur sehingga opasitas yang dihasilkan biodiesel lebih rendah jika dibandingkan dengan solar (Pi-qiang, 2013).

Hasil selanjutnya adalah semakin tinggi temperatur *preheating* maka nilai opasitas yang dihasilkan lebih rendah. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur *preheating* maka viskositas biodiesel yang semula tinggi akan mengalami penurunan sehingga proses atomisasi dan penguapan bahan bakar menjadi lebih baik dan mengarah ke pembakaran yang lebih sempurna. Apabila proses pembakaran lebih sempurna maka akan menghasilkan emisi opasitas yang lebih rendah (Hazar, 2010).

Pada Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa bahan bakar solar memiliki emisi opasitas tertinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar lain. Bahan bakar dengan kandungan emisi opasitas

terendah yaitu bahan bakar dengan kandungan biodiesel 30% dan solar 70 % (B30) dengan temperatur *preheating* sebesar 60°C.





BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan proses penelitian, maka didapatkan kesimpulan bahwa dengan penambahan persentase biodiesel *Calophyllum inophyllum* pada solar variasi temperatur *preheating* yang berdampak pada emisi mesin diesel Yanmar L70N adalah sebagai berikut.

1. Peningkatan temperatur *preheating* bahan bakar akan menurunkan emisi CO, HC dan opasitas.
2. Peningkatan temperatur *preheating* bahan bakar akan memperbaiki proses pembakaran sehingga meningkatkan emisi CO₂.
3. Semakin tinggi persentase biodiesel pada campuran bahan bakar biodiesel dan solar dengan temperatur *preheating* yang sama membuat emisi CO, HC dan opasitas yang diperoleh lebih rendah jika dibandingkan dengan solar.
4. Semakin tinggi persentase biodiesel pada campuran bahan bakar biodiesel dan solar dengan temperatur *preheating* yang sama membuat emisi CO₂ mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan solar.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dilakukan pengujian emisi menggunakan persentase biodiesel yang lebih tinggi.
2. Untuk penelitian yang akan datang dilakukan studi pengujian dengan temperatur *preheating* diatas 60°C.

DAFTAR PUSTAKA

- Adly Havendri. (2008). *Kaji Eksperimental Perbandingan Prestasi dan Emisi Gas Buang Motor Bakar Diesel Menggunakan Bahan Bakar Campuran Solar dengan Biodiesel CPO, Minyak Jarak, dan Minyak Kelapa*. Teknik A. 29(1). Hlm. 38-46
- Arismunandar, wiranto.(1988).*Motor Diesel Putaran Tinggi* Jakarta: Pradnya
- B. Ashok, K. Nanthagopal , D. Sakthi Vignesh (2017), “*Calophyllum inophyllum methyl ester biodiesel blend as an alternate fuel for diesel engine applications*”. Alexandria Engineering Journal, Elsevier
- Balitbang Kehutanan.(2008). *Nyamplung Clophyllum inophyllum L. Sumber energi Biofuel yang potensial*. Badan Litbang Kehutanan. Departemen Kehutanan. Bogor hlm. 33-38.
- Felizardo P, Correia MJ, Raposo I, Mendes JF, Berkemeier R, Bordado JM.(2006). *Production of biodiesel from waste frying oils*. Portugal : Department of Chemical Engineering, Instituto Superior Técnico
- Hambali E., (2007). *Teknologi Bioenergi*. Bogor: PT. Agromedia Pustaka.
- Hanbey Hazar a, Hüseyin Aydin b.(2010). *Performance and emission evaluation of a CI engine fueled with preheated raw rapeseed oil (RRO)–diesel blends*.Turkey : Department of Automotive, Faculty of Technical Education, Firat University
- Jacinto soares, Muhammad Agus Sahbana, Naif Fuhaid (2013). *Pengaruh pemanasan awal dan medan elektromagnet pada biodiesel terhadap daya dan kepekatan gas buang pada motor diesel 4 tak 4 silinder*. PROTON, Vol. 5 No 1 / Hal 29-33
- Khair MK, Majewski WA (2006) Diesel emissions and their control.SAE Inernational. ISBN: 978-0-7680-0674-2
- Kompas. (2016, 07 Juli). *Cadangan Minyak Mentah Dunia Hanya Cukup untuk 70 Tahun*. Diperoleh 23 Maret 2018, dari <https://internasional.kompas.com/cadangan.minyak.mentah.dunia.hanya.cukup.untuk.70.tahun>
- Lotero E, Liu Y, Lopez DE.(2004). *Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis*.(online),(<http://scienzechimch/att/.5996>, diakses 10 Maret 2015)
- M.I. Arbab , H.H.Masjuki,M.Varman,M.A.Kalam,S.Imtenan,H.Sajjad.(2013). *Fuel properties, engine performance and emission characteristic of common biodiesels as a renewable and sustainable source of fuel*.Malaysia : Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya
- Rabelo, J., Batista, E., Cavaleri, F..W. et al. J Amer Oil Chem Soc (2000) 77: 1255. <https://doi.org/10.1007/s11746-000-0197-z>
- Rabiman dan Arifin.(2011). *Sistem Bahan Bakar Motor Diesel*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Rizwanul Fattah I M, Masjuki H H, Kalam M A, Wakil M A, Ashraful A M, Shahir S A.(2014) *Experimental investigation of performance and regulated emissions of a diesel engine with Calophyllum inophyllum biodiesel blends accompanied by oxidation inhibitors*.Energy Convers Manag ;83:232–40.
- S.M. Ashrafur Rahman, H.H. Masjuki, M.A. Kalam, M.J. Abedin, A. Sanjid, H. Sajjad.(2013). *Production of palm and Calophyllum inophyllum based biodiesel and investigation of blend performance and exhaust emission in an unmodified diesel engine at high idling conditions*.Malaysia : Faculty of Engineering, University of Malaya
- Sukoco dan Zainal Arifin. (2008). *Teknologi Motor Diesel*. Bandung: Alfabeta
- Sunaryo.(2013).*Pengaruh Putaran Mesin Terhadap Emsi Gas Buang*.Surakarta: Teknik Mesin Otomotif Politeknik Pratama Mulia
- Suyanto,Wardan. (1989). *Teori Motor Bensin*. Jakarta: P2LPTK Dirjen Dikti Depdikbud.
- Tan Pi-qiang, Zhao Jian-yong, Hu Zhi-yuan, Lou Di-ming, Du Ai-min.(2013). *Effects of fuel properties on exhaust emissions from diesel engines*.China : School of Automobile, Tongji University

